



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

PROPUESTA DIDÁCTICA BASADA EN RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS PARA LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA CINEMÁTICA Y DINÁMICA DIRIGIDA A ESTUDIANTES DE GRADO DÉCIMO DEL COLEGIO TIBABUYES UNIVERSAL

Jeinsson Giovanni Gamboa Sulvara

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de ciencias, Departamento de física
Bogotá D. C. Colombia

2014

PROPUESTA DIDÁCTICA BASADA EN RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS PARA LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA CINEMÁTICA Y DINÁMICA DIRIGIDA A ESTUDIANTES DE GRADO DÉCIMO DEL COLEGIO TIBABUYES UNIVERSAL

Jeinsson Giovanni Gamboa Sulvara

Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en enseñanza de las ciencias exactas y naturales

Director:
Dr. rer. nat. John William Sandino del Busto

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de ciencias, Departamento de física
Bogotá D. C. Colombia
2014

A mis padres, María Gladys y Gonzalo, por enseñarme que el camino al éxito solo se logra con esfuerzo y sacrificio, permitiendo que yo tuviera la determinación de llegar hasta donde he llegado y de ser la persona que soy.

Agradecimientos

Al profesor John William Sandino del Busto, por toda la colaboración prestada durante todo el proceso de construcción de este documento. Su apoyo permitió que lograra alcanzar los objetivos propuestos y ayudaron en mi crecimiento personal y profesional.

A mis amigos Hidson Eduardo Benavides y José Vicente Rubiano, por la colaboración en las prácticas experimentales y por sus valiosas ideas en el momento de construir los artefactos necesarios en algunos de los experimentos realizados.

Al IED Tibabuyes Universal, por facilitar los espacios, tiempos y materiales necesarios para el desarrollo de algunos elementos del trabajo.

A los estudiantes del grado décimo de la IED Tibabuyes Universal jornada tarde, por su compromiso y disposición en el momento de al aplicar la prueba diagnóstico.

Resumen

En grado décimo los estudiantes de la IED Tibabuyes Universal, inician su formación en física y el tiempo estimado para ver los diferentes conceptos de mecánica clásica es corto, por eso es necesario buscar estrategias metodológicas donde sea posible una apropiación de los conceptos de manera más efectiva, en la cual se utilice menos tiempo.

Por otra parte, a partir del cuestionario *Force Concept Inventory* (FCI), se han evidenciado algunas falencias de los estudiantes en la comprensión de conceptos relacionados con fuerza y movimiento, allí se muestra que en los estudiantes de décimo a quienes se les aplicó la prueba, hay dificultades conceptuales en la aplicación de las leyes de Newton a situaciones sencillas y cotidianas y en la diferenciación de conceptos como velocidad y aceleración.

Este trabajo presenta una propuesta didáctica de enseñanza y aprendizaje por medio de aprendizaje basado en problemas (ABP). Se espera que a partir de su aplicación los estudiantes puedan construir adecuadamente los conceptos involucrados en la cinemática y la dinámica. Para ello se han redactado algunos problemas basados en situaciones cotidianas y de interés para los estudiantes, en donde la propuesta didáctica se basa en el desarrollo de una serie de experimentos y la construcción de un acelerómetro, mientras se van fortaleciendo los conceptos básicos de la mecánica clásica.

Palabras clave: Mecánica newtoniana, Fuerza, Movimiento, inercia, física en secundaria, enseñanza de la física, Aprendizaje basado en problemas.

Abstract

The teaching in physics on students of IED Tibabuyes Universal began in Tenth grade. One of the problems is that the time associated to the physics learning is really short. Therefore, we need to find strategies to allow greater and efficient ownership of concepts. On the other hand, from the questionnaire “Force Concept Inventory” (FCI), it been shown some weaknesses in the comprehension of concepts related to force and motion. On the Tenth grades in which the test was applied, it was found conceptual misunderstanding of several concepts like Newton's laws and the differentiation of others like velocity and acceleration.

This work presents a didactic teaching and learning strategy based on problem-based learning. It is expected through this application, that students can properly build their own conceptions of kinematics and dynamics.

Due to those facts, some problems based on everyday situations are suggested; where the proposal include a series of experiments and a construction of an accelerometer, while the core concepts are strength ranging from classical mechanics.

Keywords: Newtonian mechanics, Force, Motion, inertia, high school physics, physics education, problem-based teaching.

Contenido

Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XV
Introducción	1
1. Marco Teórico	5
1.1 Evolución histórica de los conceptos de fuerza y movimiento	5
1.2 Fuerza y movimiento	12
1.3 Aprendizaje basado en problemas (ABP)	13
1.4 Aprendizaje significativo	16
1.5 Competencias MEN	18
2. Análisis y construcción de herramientas metodológicas	20
2.1 Análisis del “ <i>force concept inventory</i> ” (FCI)	20
2.2 Problemas	26
2.2.1 Problema 1. Accidentes en el colegio	27
2.2.2 Problema 2. Parkour	28
2.2.3 Problema 3. Parques de diversiones “ <i>Súper shot</i> ”	28
2.3 Solución propuesta de los problemas planteados	29
2.3.1 Solución problema 1. Accidentes en el colegio	29
2.3.2 Solución problema 2. <i>Parkour</i>	33
2.3.3 Solución problema “ <i>Súper shot</i> ”	40
3. Propuesta didáctica	45
3.1 Propuesta	45
3.1.1 Sesión 1: Presentación de los problemas	46
3.1.2 Sesión 2: Focalizar los problemas	48
3.1.3 Sesión 3: Obtención información	50
3.1.4 Sesión 4: Planear la solución	51
3.1.5 Sesión 5: Ejecución experimental	53
3.1.6 Sesión 6: Análisis experimental	54
3.1.7 Sesión 7: Comunicar la solución del problema	56
3.2 Experimentos realizados	57
3.2.1 Construcción del acelerómetro de masa y resorte	57
3.2.2 Experimento 1 para el problema de caída de objetos desde diferentes alturas de la institución educativa.	59
3.2.3 Experimento 2 cálculos de la constante elástica de los resortes utilizados para realizar el acelerómetro de masa y resorte	66
3.2.4 Experimento 3. Análisis cualitativo del cambio de velocidad de una persona cuando salta de una altura determinada.	72
3.3 Análisis de los resultados teóricos y experimentales	73
3.3.1 Análisis problema accidentes del colegio	73
3.3.2 Análisis problema <i>Parkour</i>	75
3.3.3 Análisis problema “ <i>Súper shot</i> ”	76
4. Conclusiones y consideraciones	79
4.1 Conclusiones	79

4.2	Consideraciones.....	81
Bibliografía		83
A.	Anexo: Tabla de aciertos en cada una de las preguntas del FCI y el nivel de dificultad de cada una de las preguntas	85
B.	Anexo: Guía de laboratorio para simular la caída de objetos.....	87
C.	Anexo: Guía de laboratorio calcular las constantes elásticas	89
D.	Anexo: Guía para construir el acelerómetro de masa y resorte.....	93

Lista de figuras

Figura 1.1. Estructura Aristotélica del Universo	5
Figura 1.2. Área de un gráfico de velocidad contra tiempo.	8
Figura 1.3. Deducción geométrica que permite a Galileo afirmar que la distancia recorrida en un movimiento acelerado uniformemente crece de acuerdo al cuadrado del tiempo transcurrido	9
Figura 1.4. Relación entre las dimensiones que permiten un aprendizaje significativo....	18
Figura 2.1. Esquema que representa el problema de la caída de un objeto.	30
Figura 2.2. Caída de una persona practicando parkour.	34
Figura 2.3. Acelerómetro de masa y resorte.....	37
Figura 2.4. Diagrama de fuerzas para la masa del acelerómetro.	38
Figura 2.5. Esquema para calcular la altura del Súper shot.....	40
Figura 2.6. Esquema de los diferentes movimientos realizados por la cabina del súper shot durante todo el recorrido.....	41
Figura 3.1. Abertura del orificio al tapón de tubo.	58
Figura 3.2. Conexión de los resortes a la masa y el tapón del tubo con el cáncamo.....	58
Figura 3.3. Unión del rollo de acetato con el otro tapón del tubo.	59
Figura 3.4. Acelerómetro asegurado de sus extremos con pegante instantáneo.....	59
Figura 3.5. Preparación de gelatina que simula los tejidos blandos del cuerpo humano.	60
Figura 3.6. Marcas hechas por las monedas sobre la gelatina.	60
Figura 3.7. Puntilla que se lanzó sobre la gelatina.	61
Figura 3.8. Imágenes del daño generado por la puntilla al caer de punta sobre la gelatina.	62
Figura 3.9. Mezcla de gelatina de 22,5 g atravesada completamente al lanzar la puntilla de 12,6 cm desde el tercer piso.	63
Figura 3.10. Lugar donde se carga un video en el programa Tracker.	64
Figura 3.11. Lugar donde se fija el sistema coordenado en el programa tracker.	64
Figura 3.12. Lugar donde se fija el objeto en el programa Tracker.....	65
Figura 3.13. Montaje experimental para calcular la constante elástica de los resortes usados en los acelerómetros.....	67
Figura 3.14. Medición de la elongación del resorte al colocar masas de diferente valor.	67
Figura 3.15. Diseño experimental para medir el tiempo de 10 oscilaciones.	70
Figura 3.16. Medición de la elongación del resorte 1.	72
Figura 3.17. Prueba experimental para observar el cambio de aceleración en la caída libre de una persona.	73

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2.1. Estadísticas descriptivas de la prueba FCI aplicada a los estudiantes de grado décimo.....	21
Tabla 2.2. Número de preguntas de acuerdo al nivel de dificultad mostrado por los estudiantes de grado décimo.	26
Tabla 2.3. Coeficiente de restitución para algunas pelotas.	32
Tabla 2.4. Valores obtenidos para la constante elástica de los resortes utilizados.	39
Tabla 3.1. Datos medidos para el lanzamiento de dos puntillas de diferente masa.	62
Tabla 3.2. Elongación de los resortes para diferentes masas.....	68
Tabla 3.3. Error típico y error de la pendiente en la regresión lineal hecha para calcular la constante del resorte	69
Tabla 3.4. Medición del tiempo para diez oscilaciones y cálculo del periodo.	70
Tabla 3.5. Cálculo de la constante elástica por medio del periodo de oscilación.	71
Tabla 3.6. Datos para calcular la constante elástica a partir del análisis dinámico.	72
Tabla 0.1. Índice de dificultad de las respuestas recogidas del FCI al ser aplicado a los estudiantes de grado décimo de IED Tibabuyes Universal.	86

Introducción

A partir de modelos ideales, la cinemática y la dinámica, pueden explicar muchas situaciones cotidianas a los estudiantes que en muchas ocasiones, logran acercarse bastante a la realidad de los movimientos y fuerzas que actúan sobre los cuerpos. Normalmente, los conceptos básicos de la cinemática y la dinámica son enseñados de forma aislada sin tener en cuenta las implicaciones y relaciones existentes entre ellos. Lo que hace que se utilice más tiempo en el desarrollo de las dos temáticas. Al estudiar dos veces algunos conceptos como la aceleración, los estudiantes quedan confundidos y podrían pensar que se refiere a cosas diferentes, no guardando relación alguna entre sí (Rosales 2012). Por medio del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), es posible abordar la temática desde los dos puntos de vista simultáneamente, construyendo el concepto desde la cinemática y la dinámica, planteando problemas de situaciones cotidianas que se pueden idealizar para obtener una solución aproximada a lo observado. Por ejemplo, desarrollando el concepto de aceleración en los estudiantes de grado décimo, se puede lograr un gran avance en la cinemática y dinámica requerida. “Cuando se utiliza el ABP, el alumnado guía su aprendizaje, es decir, utiliza los caminos que considera necesarios para resolver los problemas que se le plantean.” (Escribano, A., 2008: 39). Cuando se trata de resolución de problemas, las soluciones se pueden dar por diferentes caminos, permitiendo que los estudiantes aborden diferentes temáticas en la solución de un mismo problema y así se puede afianzar los conceptos requeridos en un tiempo más corto, que para el caso aquí planteado corresponde a conceptos relacionados con dinámica y cinemática.

La aplicación de las Leyes de Newton, permite el estudio de una gran cantidad de movimientos, ya que están relacionadas con las fuerzas que se realizan sobre un cuerpo y están vinculadas directamente con su masa inercial y la aceleración. Aunque generalmente son modelos idealizados aplicados a situaciones reales, es posible desarrollar conceptos como la aceleración o la velocidad y describir movimientos

rectilíneos o circulares, partiendo de las leyes de Newton. Para redefinir la forma habitual de enseñar la mecánica clásica en grado décimo donde habitualmente se inicia con cinemática y posteriormente se enseña dinámica, se plantea esta propuesta didáctica donde se desea avanzar al ritmo que lleve el estudiante en su búsqueda de la solución, sin una secuencia lineal de contenidos como generalmente lo sugieren los libros de texto. Se podría iniciar con conceptos relacionados con fuerzas culminando con el análisis cinemático de los movimientos o viceversa. Se pretende que cada estudiante construya su conocimiento y aunque existe el riesgo que no llegue a relacionar todos los conceptos requeridos por el Ministerio de Educación Nacional MEN desde sus estándares curriculares este conocimiento será más perdurable convirtiéndose en un aprendizaje significativo (Rosales 2012).

Pero no todas las falencias parten de conceptos que desconocen o identifican erróneamente los estudiantes, paralelamente a las falencias conceptuales nombradas con anterioridad, existen otras falencias que impiden que los estudiantes se apropien de algunos conceptos de la física relacionados con la cinemática y dinámica que se enseña habitualmente en grado décimo. Entre ellas están: la poca intensidad horaria ya que solo tienen tres horas de física en la semana, la gran cantidad de contenidos que se deben incluir aparte de cinemática y dinámica como es energía, termodinámica y fluidos como se plantea en el plan de estudios y la irrelevancia que sienten los estudiantes frente a los contenidos vistos ya que no encuentran una relación con su realidad inmediata.

En consecuencia este trabajo propone una estrategia didáctica fundamentada en el aprendizaje basado en problemas para la enseñanza-aprendizaje de la cinemática y la dinámica dirigido a estudiantes de grado décimo de la institución educativa distrital Tibabuyes Universal.

Inicialmente se presentan algunos aspectos disciplinares sobre cinemática y dinámica que se enseñan en grado décimo desde una perspectiva epistemológica y conceptual; luego se presentara el sustento teórico del aprendizaje basado en problemas ABP indicando las competencias que se pueden desarrollar y como se puede relacionar con un aprendizaje significativo; posteriormente se identifica los saberes previos de los estudiantes mediante el análisis realizado de la prueba *force concept inventory* (FCI) que se aplicó a 70 estudiantes de grado décimo de la IED Tibabuyes Universal; continuando se presentarán los problemas sugeridos para la propuesta didáctica con su respectiva solución identificando los conceptos que se quieren desarrollar en cada una de sus

etapas; finalmente, se evidenciara la propuesta didáctica para la enseñanza de la dinámica y la cinemática usando como referentes problemas relacionados con situaciones riesgosas en el colegio, atracciones mecánicas en parques de diversiones y los cuidados que se deben tener al practicar el *parkour*.

En la parte final referente a la propuesta didáctica se hará uso de algunos problemas cercanos a la realidad del estudiante y experimentos que ayudarán al estudiante a comprender mejor los contenidos, con estas herramientas se pretende contribuir identificar los saberes previos de los estudiantes, afianzar conceptos básicos como la velocidad, aceleración y fuerza y construir una secuencia didáctica para orientar el aprendizaje basado en problemas.

1.Marco Teórico

1.1 Evolución histórica de los conceptos de fuerza y movimiento

Desde Aristóteles (Estagira, 384 – Calcis 322 a. C) se definió el concepto de antiperístasis que indica la virtud en que un elemento crece en intensidad y no en extensión. Este término fue utilizado para explicar inicialmente el movimiento de proyectiles. De acuerdo a Aristóteles, la Tierra era el centro del universo y entorno a ella giraban los planetas conocidos en esa época, más el Sol y la Luna en orbitas circulares perfectamente definidas. Cada planeta se encontraba en una esfera concéntrica transparente y se creía que había una última esfera que contenía todas las estrellas.



Figura 1.1. Estructura Aristotélica del Universo¹

¹ Imagen recuperada de <http://www.monografiaslistas.info/2012/12/que-es-geocentrica.html>

Por otra parte Aristóteles creía que el movimiento de los cuerpos en la Tierra obedecía a la posición natural que tenían en el universo los cuatro elementos que lo componían Tierra, agua, aire y Fuego, los cuales se encontraban en la región sublunar. Los objetos se mueven para buscar su esencia como elemento; así el humo va hacia arriba porque busca el fuego que está en la parte más externa de la Tierra y los objetos sólidos tienden a caer al suelo porque buscaban su origen que era la Tierra.

Aristóteles tenía la concepción errónea que los objetos se movían hacia el piso de acuerdo a su peso y que sólo caerían a igual velocidad si estos se encontraban en el vacío (Mosquera 2012). La concepción del movimiento en el vacío era correcta de acuerdo a las concepciones actuales sobre el movimiento de los cuerpos en caída libre, pero nunca fue considerada porque Aristóteles no concebía el vacío. También logro relacionar las fuerzas con el movimiento, clasificó los movimientos en naturales y violentos, en donde indicaba que los movimientos naturales se debían a los elementos naturales ya nombrados y movimientos violentos se debían a fuerzas impulsoras como en el movimiento de una carreta.

Una de las razones por las cuales los griegos no encontraron las leyes correctas que relacionaban la fuerza y el movimiento fue considerar que siempre existía fricción, que fue denominada como la resistencia, como una acción que siempre estaba presente en el movimiento. Teniendo la resistencia como causa de reducción de la velocidad de los cuerpos en movimientos, la inercia no era una propiedad de cada cuerpo si no una propiedad de relación entre el cuerpo y el medio que lo rodea. De acuerdo a Sepúlveda (2012), se creía que un cuerpo que se mueve con velocidad constante se debe a que sobre él se ejerce una fuerza constante y si se desea un aumento de velocidad puede ser producido por un incremento en la fuerza aplicada.

Durante el siglo XIV, se tenía la concepción que el movimiento era una característica variable de la materia. Desde diferentes ramas del conocimiento se pretendía explicar la naturaleza del movimiento de un cuerpo. Así desde las artes se recreaba la sensación de movimiento y desde la lógica se planteaba la razón y la experiencia como herramientas fundamentales en la comprensión del concepto. En la época medieval se define la *rapidez uniforme* como la relación de recorrer distancias iguales en tiempos iguales, pero sus conocimientos no lograron abarcar el concepto de velocidad instantánea ya que carecían de herramientas matemáticas como son los límites y el cálculo diferencial.

Por otra parte, la idea que los cuerpos caen al mismo instante cuando son lanzados desde la misma altura sin importar su masa fue propuesta por Juan Filipón en el siglo VI al comprobar experimentalmente que el tiempo de caída de dos cuerpos de diferente masa sucedía en un instante muy aproximado de tiempo. En esta época se empezó a rebatir la idea que algo debe empujar a los objetos cuando se empiezan a mover libremente por el aire.

Nuevamente en el siglo XIV, Jean Buridan, retoma la idea de movimiento propuesta por Juan Filipón y complemento las concepciones de fuerza motriz que prefirió llamar Ímpetu, el afirmaba que “Un cuerpo mantiene su movimiento debido a que, de algún modo, queda en él algo del «empuje» original como ímpetu” citado por Mosquera (2012). Buridan relacionó esta cantidad de movimiento con la rapidez del objeto y su masa indicando que el ímpetu era equivalente al producto de la masa por la rapidez y logro indicar que un cuerpo tenía más aceleración debido a que el movimiento se relacionaba con el ímpetu y la gravedad.

Posteriormente Galileo consideraba que el lenguaje matemático era el lenguaje en el que estaba escrita la comprensión del universo, y afirma que para comprender cualquier cosa se debe tener en cuenta las diferentes formas geométricas como el triángulo y el círculo (Sepúlveda 2012; 103). A partir de este pensamiento, Galileo presenta sus novedosas concepciones de movimiento realizadas en la primera década del siglo XVI y define el movimiento rectilíneo uniforme como aquel donde la distancia recorrida por un objeto es proporcional al tiempo. Posteriormente empieza a analizar el movimiento acelerado en el cual surgen múltiples posibilidades, pero se centra en el caso donde la velocidad cambia de modo uniforme, así si un cuerpo inicia con una velocidad de 2 m/s, al cabo de un segundo su velocidad es de 4 m/s y ha recorrido 4 m y al cabo de 2 s su velocidad es de 6 m/s y ha recorrido 6 m. De esta información se sacan dos conclusiones que la distancia es proporcional a la velocidad, lo cual es incorrecto; pero también se logra una conclusión correcta donde la velocidad cambia proporcionalmente con el tiempo.

Posteriormente Galileo idea un experimento para medir el tiempo de caída de un cuerpo, para ello utiliza un plano inclinado para “diluir” el movimiento de la esfera. Mide la cantidad de agua que sale por un orificio mientras la esfera recorre la distancia del plano inclinado y el volumen de agua recogido da la medida del tiempo transcurrido. A partir de este experimento logró comprobar que en la caída libre la distancia recorrida es

proporcional al tiempo transcurrido elevado al cuadrado. Llegó a diversas conclusiones interesantes como por ejemplo que la relación encontrada es válida para diferentes inclinaciones del plano y que los cuerpos con diferentes masas que caen de alturas iguales lo hacen con la misma aceleración. Para lograr estos resultados, Galileo hace uso de la regla de velocidad media conocida en el siglo XVI por los escolásticos y demostrada por Oresme. Esta regla dice “Un cuerpo uniformemente acelerado desde una velocidad v_0 a v recorre en un tiempo t la misma distancia que recorrería si se moviera a una velocidad constante igual al valor medio de v_0 y v ” Sepúlveda (2012; 106).

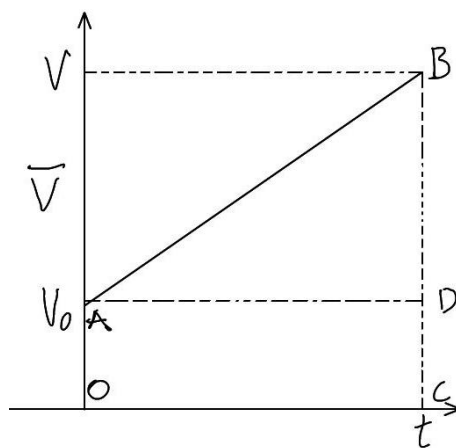


Figura 1.2. Área de un gráfico de velocidad contra tiempo.

Oresme supone que el área debajo de la línea AB es la distancia recorrida que equivale al producto de la velocidad media con el tiempo $\bar{v}t$, entonces área ADB + área ADCO = $\bar{v}t$. Luego, $\frac{(v-v_0)t}{2} + v_0t = \bar{v}t$ de donde se concluye finalmente que $\bar{v} = (v + v_0)/2$.

El tratamiento geométrico que da Galileo a su experimento es basado en la regla de la velocidad media, entonces de acuerdo a la figura 1.3., se toma tres intervalos de tiempo AC, CI e IO. La velocidad media del primer intervalo es AD y la distancia recorrida es el área DACE. La velocidad media del segundo intervalo es BC que será tres veces mayor a la del primer intervalo, luego su distancia recorrida será tres veces mayor. Finalmente para el tercer intervalo la velocidad media es OR que será cinco veces mayor al primer intervalo. Luego, las distancias recorridas en cada intervalo son 1, 3 y 5 veces el primer intervalo, sumando estos valores da 1 para el primer intervalo, 4 para el segundo intervalo y 9 para el tercero, entonces se evidencia como la distancia recorrida crece con el cuadrado del tiempo $1^2=1$, $2^2=4$ y $3^2=9$.

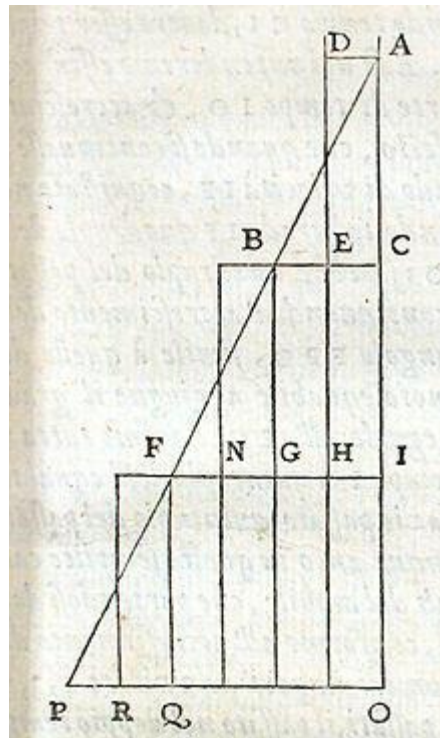


Figura 1.3. Deducción geométrica que permite a Galileo afirmar que la distancia recorrida en un movimiento acelerado uniformemente crece de acuerdo al cuadrado del tiempo transcurrido

A partir de este experimento realizado por Galileo, se logra una gran diferencia con los escolásticos de la época, a quienes sólo les bastaba el ejercicio lógico para estudiar el movimiento de un cuerpo mientras que Galileo introduce un razonamiento donde la experiencia y el análisis matemático priman para buscar regularidades que se dan en la naturaleza.

En cuanto a los modelos matemáticos de fuerza, se encuentra el de Kepler, por el cual describe en detalle el movimiento planetario a partir de relaciones entre variables específicas. Aunque esta visión inició desde la antigua Grecia cuando empezaron a observar los planetas y tuvo una gran colaboración de Tycho Brahe ya que él estudió la posición de los planetas por un tiempo prolongado y organizó estos datos en tablas, que posterior a su muerte fueron interpretados y matematizados por Kepler.

Pero mientras Kepler descubría estas leyes y Galileo estudiaba el movimiento de los cuerpos todavía surge la pregunta ¿qué hace que los planetas se muevan? Un hecho

importante fue el descubrimiento del principio de inercia que hizo Galileo pero no define como tal el concepto de inercia en ese momento.

Una de las primeras definiciones de fuerza la da Descartes que dice “la fuerza con la que un cuerpo obra contra otro cuerpo o resiste su acción, consiste solo en que toda cosa persiste mientras pueda en el mismo estado en que se halla, de acuerdo a la primera ley expuesta” (Mora, C. y Benítez, Y. 2010). Esto indica que dos cuerpos poseen fuerza para estar unidos y si son separados es necesaria una fuerza, de igual forma si un objeto está en reposo requiere de una fuerza para mantenerse así.

Finalmente Newton fue quien dio una definición más formal cuando expuso la segunda ley e indicó que la fuerza aplicada es proporcional al cambio de movimiento, que posteriormente se denominó aceleración. Esta generalización hecha por Newton permite hablar de cualquier fuerza de la misma forma.

En 1687 Newton publicó por primera vez el libro *Mathematical principles of natural philosophy* en donde expone sus concepciones sobre mecánica en ocho definiciones y tres axiomas. Los tres axiomas son lo que se conoce hoy en día como las tres leyes de Newton que son la Ley de Inercia, la Ley de Fuerza y la Ley de Acción y Reacción. Los axiomas publicados por Newton en 1687 y traducidos al español de acuerdo a Sebastia (2013) son:

- Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme a lo largo de una línea recta, a menos que una fuerza impresa lo obligue a cambiar su estado.
- El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se realiza en la dirección en la que actúa la fuerza impresa.
- Para cada acción existe siempre una reacción, y las acciones mutuas entre dos cuerpos son siempre iguales y en dirección contraria.

No obstante estos axiomas han generado gran controversia a lo largo de la historia desde el momento que son publicados. En la enseñanza de la mecánica es importante tener en cuenta las consideraciones y alcances que tienen estos axiomas, ya que permite que el docente identifique la coherencia y actualidad de los conceptos que está enseñando. Con el conocimiento de la historia y epistemología de los conceptos de la dinámica, es posible identificar puntos críticos y las modificaciones que han tenido hasta ahora. A continuación se nombrarán algunas consideraciones históricas, hechas a las

tres leyes de Newton de acuerdo a *Las Leyes de Newton de la mecánica: Una revisión histórica y sus implicaciones en los textos de enseñanza* Sebastiá (2013).

Para comprender mejor las implicaciones hechas sobre las leyes de Newton, es necesario conocer que Newton solo consideraba dos fuerzas como tal, la fuerza interna o de inercia y la fuerza externa o impresa que son definidas en *Los principios*. La fuerza de inercia justificaba el estado de reposo o movimiento rectilíneo con velocidad constante y la fuerza externa indicaba el cambio del movimiento de un cuerpo bien sea en velocidad del cuerpo o dirección del movimiento.

Una implicación importante de la primera ley radica en la imposibilidad de ser demostrada experimentalmente ya que es imposible crear un sistema en el cual no actúe fuerza externa como lo plantea Newton. Si se desea realizar medidas de velocidad, distancia recorrida o tiempo; por lo menos existe la atracción entre la masa del instrumento de medición y la masa del objeto. La otra alternativa es indicar que las fuerzas existen pero su fuerza resultante es cero. Según Sebastiá (2013) esto se convierte en una tautología ya que no existe un sistema en el cual se puede comparar que las fuerzas se anulan en todo el movimiento. La primera ley habla de un posible resultado del estado de movimiento de un cuerpo bajo ciertas condiciones, luego no se trataría de una ley si no de una hipótesis.

Por otra parte, en la primera ley se considera que el espacio y tiempo como absolutos. En este caso no se tiene en cuenta un sistema de referencia para indagar sobre el movimiento de un cuerpo por eso es necesario definir un sistema de referencia en donde sea válida la mecánica Newtoniana, no actúen fuerzas ficticias y recobre sentido hablar de cambios iguales de posición en intervalos iguales. Este sistema fue llamado sistema de referencia inercial donde un cuerpo libre se movería con velocidad constante por una línea recta.

La segunda ley Newton entendía el cambio de movimiento como la cantidad de movimiento, que es el producto entre la masa y velocidad del cuerpo. Para esta ley varios autores como Coelho, Carnot, Mach entre otros no se ponen de acuerdo en que la fuerza es la “**causa**” del movimiento, incluso algunos consideran que esta definición enturbia la claridad de la ciencia Sebastiá (2013). Por otra parte el primer científico en definir la fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo como el producto entre la masa y

aceleración fue Euler en 1750 y no Newton como lo hacen ver en algunos textos escolares.

La tercera ley planteada por Newton no ha recibido modificaciones considerables a lo largo del tiempo. Esta ley es una buena aproximación para choques entre objetos con masa considerable como dos personas o dos automóviles, pero para el choque a nivel atómico no es de gran utilidad. Newton indicaba que toda fuerza tenía otra fuerza asociada de igual magnitud pero en diferente sentido, pero nunca mencionó cual sería esa fuerza asociada a la fuerza de inercia.

1.2 Fuerza y movimiento

Aunque la aceleración se puede definir de diferentes formas, cuando se tiene el concepto de velocidad, se puede decir, que la aceleración \vec{a} es el cambio de la velocidad \vec{v} en un instante de tiempo dt . Pero esta definición nos da como tal el promedio del cambio de la velocidad de acuerdo al intervalo de tiempo tomado y no la velocidad instantánea como es definida a partir de la derivada de la velocidad respecto al tiempo.

$$\vec{a} = d\vec{v}/dt \quad (1.1)$$

En un movimiento rectilíneo uniforme acelerado (MRUA) se considera que la aceleración es constante, en este caso la derivada de la velocidad respecto al tiempo nos da un valor constante que hace referencia a cuanto cambia la velocidad cada segundo. Como es un valor constante, se puede concluir que los cambios de velocidad cada instante de tiempo van a ser los mismos.

De forma análoga, desde la dinámica se logra obtener el concepto de aceleración. Inicialmente se conoce que las fuerzas generan sobre los cuerpos cambios de velocidad y dirección de movimiento. Eso significa que una fuerza puede incrementar, reducir la velocidad de un cuerpo o cambiar su trayectoria de movimiento. Pero estos cambios de movimiento que producen las fuerzas sobre los cuerpos dependen de diferentes cantidades. Por ejemplo, de la intensidad de la fuerza entre mayor sea se puede lograr un cambio mayor en la velocidad del cuerpo. Por otro lado, el tiempo en que se aplica la fuerza \vec{F} también genera un mayor cambio de velocidad luego se tiene que:

$$\Delta \vec{v} \propto \vec{F} \cdot \Delta t \quad (1.2)$$

También a su vez los cambios de velocidad van a ser inversamente proporcionales a la cantidad de masa que tiene el cuerpo, entre más masa tenga el cuerpo más difícil será generar un cambio de velocidad sobre él, entonces la expresión queda de la siguiente forma:

$$\Delta \vec{v} \propto \frac{\vec{F} \cdot \Delta t}{m} \quad (1.3)$$

Revisando las dimensiones de las cantidades se encuentra que tienen dimensiones de longitud sobre tiempo $[L \cdot s^{-1}]$. Entonces se puede establecer una relación de igualdad entre ellas. (Feynman, R.; Leighton, R. y Sands, M. 1971)

$$\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{F}}{m} = \vec{a} \quad (1.4)$$

De donde se obtiene que la aceleración sea la razón de la fuerza neta aplicada sobre la masa del objeto. Cabe aclarar que esta expresión es válida para un cuerpo de masa constante, es decir, es una definición con restricciones.

A partir de la anterior expresión, se deduce la segunda ley de Newton como se conoce actualmente, pero esta expresión fue planteada por Euler.

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1.5)$$

1.3 Aprendizaje basado en problemas (ABP)

De acuerdo con Barrows (1986), el ABP es un método de aprendizaje donde se utilizan problemas como base para la adquisición de nuevos conocimientos. Esta es una metodología que invita a los estudiantes a la reflexión y la investigación generando la construcción propia del conocimiento e inicia con un problema que puede surgir de una situación real o cercana a la realidad.

Para abordar un problema es indispensable cerciorarse que los estudiantes tienen las herramientas conceptuales necesarias, por ello en ocasiones es necesario explicar parte del desarrollo conceptual antes de iniciar con la metodología.

Barrows (1986) afirma que los problemas deben ser el punto de partida para adquirir nuevos conocimientos y el estudiante debe ser consciente de su responsabilidad activa en este proceso, de esta forma el profesor encargado se convierte en un consultor,

permitiendo que cada estudiante tenga un aprendizaje individual y a su ritmo, donde tendrá la oportunidad de afianzar conocimientos de su entero interés.

Para el trabajo con esta metodología es necesario tener en cuenta algunas recomendaciones de acuerdo a Morales (2004).

En primera instancia el profesor, que es denominado tutor, es encargado de guiar a los estudiantes mediante preguntas que permitan tomar las mejores decisiones para abordar la solución de un problema. En ocasiones el papel del tutor lo puede tomar alguno de los estudiantes, inclusive se ha planteado que el tutor fuera una persona inexperta en el tema para no cometer el error de realizar una clase tradicional donde el profesor es el único trasmisor de conocimiento mientras que el estudiante se comporta como un agente pasivo y receptor.

Los problemas se sugiere resolverlos en grupos donde cada uno de los estudiantes brinde sus aportes y así generar una solución conjunta del conocimiento alcanzado por cada uno de los participantes. Cuando se empezó a aplicar esta metodología se sugerían grupos de 4, 5 o hasta 9 estudiantes, pero en la actualidad se recomienda hacer grupos de 3 personas para que los aportes de cada uno de los integrantes sean relevantes en la conclusión final que logren.

Inicialmente el ABP se usó para plantear problemas médicos, en donde las situaciones eran reales y existía la posibilidad que el aprendiz de doctor formulara preguntas y analizara la situación a partir de síntomas que presentaba el paciente. Cuando se usa en otras ramas del conocimiento como en la enseñanza de la física, es necesario que el aprendizaje sea auto dirigido, que el estudiante tenga la opción de plantear sus propias preguntas, que busque información pertinente, que plantee experiencias que permitan corroborar las hipótesis planteadas y que acumulen toda la experiencia adquirida para dar una serie de conclusiones acerca del problema planteado inicialmente.

Para resolver un problema mediante la metodología de ABP Morales (2004) plantea algunos pasos básicos que no pueden faltar en el desarrollo, aunque se pueden agregar algunos otros de acuerdo a las necesidades planteadas inicialmente. Los pasos son:

- Leer y analizar el escenario del problema.
- Realizar una lluvia de ideas.
- Hacer una lista de aquello que se conoce.

- Hacer una lista de lo que se desconoce.
- Hacer una lista de aquello necesario para resolver el problema.
- Definir el problema.
- Obtener información pertinente.
- Presentar resultados.

Por medio de esta metodología de ABP se ha logrado obtener diferentes resultados en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes como por ejemplo, generar aprendizaje significativo desde la valoración de su propio esfuerzo, promover una disposición afectiva al desarrollar problemas de interés para los estudiantes, generar conflictos cognitivos en los estudiantes mediante la discusión de las posibles soluciones que se pueden dar a un determinado problema, dispone a los estudiantes a colaborar y cooperar por un fin común y logra relacionar su saber común con su saber científico (Morales 2004). Estos resultados se podrían alcanzar en los estudiantes del IED Tibabuyes Universal.

Pero así como existen muchas virtudes de la utilización del ABP, también se pueden presentar dificultades en su ejecución. De acuerdo a Soto (2009) en la implementación de una propuesta para la enseñanza de la cinemática a través de la resolución de problemas, se observan dificultades en lograr un aprendizaje significativo por medio de esta metodología porque los estudiantes están acostumbrados a ser receptores de los conocimientos impartidos por el profesor, no relacionan los contenidos aprendidos en las clases teóricas con las prácticas experimentales desarrolladas, sus habilidades para comunicar conocimientos científicos son precarias y superficiales, no identifica la carencia de conocimientos, tienen dificultades para diferenciar cantidades físicas útiles para describir y explicar un movimiento, dificultades para diferenciar los diferentes tipos de movimiento y dificultades para describir e interpretar movimientos desde sistemas de referencia poco comunes para ellos.

Estas falencias se pueden presentar en la implementación de la propuesta en el IED Tibabuyes Universal, aunque en lo posible no se pretende dar clases teóricas, es preocupante en cuanto a la ejecución de la estrategia de ABP aspectos como la comunicación de conocimientos científicos y la costumbre que tienen los estudiantes de ser agentes pasivos en el proceso de enseñanza y aprendizaje. En cuanto a las

preocupaciones conceptuales son similares a las propuestas por Soto, como se puede evidenciar más adelante en el análisis hecho mediante el FCI a los estudiantes de grado décimo.

Para finalizar, el ABP permite desarrollar diversas competencias como la resolución de problemas, toma de decisiones, trabajo en equipo, habilidades de comunicación, desarrollo de valores, el pensamiento crítico y el aprendizaje auto dirigido.²

1.4 Aprendizaje significativo

El aprendizaje significativo se enmarca en la corriente constructivista ya que se basa en los conceptos que construye el que aprende y no en el paso de información del que enseña. Quien primero acuñó esta teoría de aprendizaje fue David Ausubel proponiendo el primer modelo de aprendizaje cognitivo en donde se debe buscar relacionar el conocimiento nuevo con las ideas o experiencias previas del estudiante. Desde entonces se ha promovido en diversas prácticas pedagógicas la construcción de concepciones no secuenciales si no de acuerdo a la búsqueda que hace el propio estudiante. Pero para que se de este proceso de autoaprendizaje es necesario que el material que se utiliza sea significativo para el estudiante, así la nueva información inicia una interacción con la estructura de conocimiento específico (Soto, 2009).

De acuerdo a Díaz (2010), el aprendizaje significativo se debe centrar en actividades experimentales que acerquen al estudiante a situaciones reales, desarrolle capacidades reflexivas, críticas y permita que el estudiante actúe adecuadamente en prácticas sociales verdaderas. Algunas metodologías que permiten alcanzar estos objetivos son la resolución de problemas auténticos, analizar casos reales, generar proyectos, prácticas en ambientes reales, trabajar en equipos cooperativos, demostración de simulaciones y aprendizaje mediante tecnologías de información y comunicación (TIC). Con la propuesta que se presenta, fundamentada en el aprendizaje basado en problemas para los estudiantes de décimo grado de la IED Tibabuyes Universal, se logra abarcar algunas de

²Del texto Aprendizaje basado en problemas se extrajo los conceptos enunciados por Barrows y las características del ABP. Fue construido por la universidad politécnica de Madrid como una guía rápida sobre nuevas metodologías véase, Servicio de innovación educativa Universidad politécnica de Madrid “Aprendizaje basado en problemas”

las metodologías nombradas por Frida Díaz, luego, es posible generar un aprendizaje significativo.

Así el aprendizaje significativo se diferencia del aprendizaje memorístico, donde los conceptos se presentan de una forma lineal, los estudiantes simplemente son receptores y la actividad pedagógica solo genera saberes aislados donde el estudiante es incapaz de unificar estos conceptos y aplicarlos en un contexto con una situación problemática. Si se supera el aprendizaje memorístico, se otorga un significado a todo lo aprendido y es posible utilizar los conceptos aprendidos en diferentes contextos, se logra un aprendizaje significativo (Díaz 2010).

Pero este aprendizaje significativo por lo general se relaciona con aprendizajes auténticos en donde los estudiantes pueden potencializar su capacidad de razonar de acuerdo a dos dimensiones. La primera es la dimensión de relevancia cultural donde el material utilizado va enfocado a culturas que pertenece o pretende pertenecer el estudiante, la segunda es la dimensión social donde hay interacción con los demás para resolver problemas por medio de funciones que cumple cada estudiante descubriendo el conocimiento que se requiere para llegar a una solución adecuada.

En la figura 1.4 se muestra cómo se pueden relacionar estas dimensiones para lograr aprendizajes significativos de acuerdo a Díaz (2010)³

³ La gráfica fue extraída de un texto publicado por el ministerio de educación de Ecuador en donde diferentes autores como Frida Díaz exponen una serie de artículos relacionados con pedagogía y didáctica. Véase en <http://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/SiProfe-Pedagogia-y-didactica.pdf>

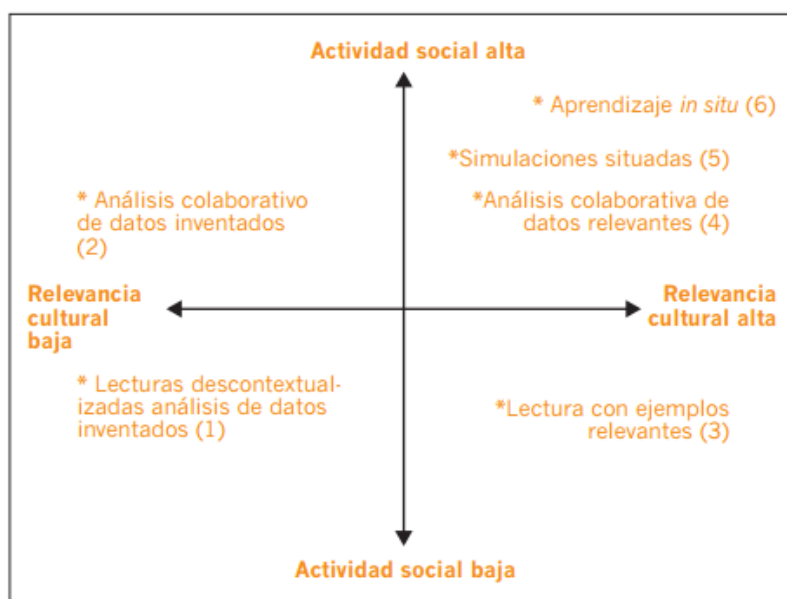


Figura 1.4. Relación entre las dimensiones que permiten un aprendizaje significativo.

Como se puede observar en la Figura 1.4 para una actividad social alta y una relevancia cultural alta se resalta:

- El análisis colaborativo de datos relevantes, que es un modelo centrado en la relación del estudiante con la vida real.
- Simulaciones situadas, en donde los estudiantes realizan un trabajo colaborativo en la resolución de problemas o situaciones reales.
- Aprendizaje *in situ*, donde se pretende afianzar habilidades propias de cada rama del conocimiento y se enfatiza en situaciones cotidianas.

A partir de la propuesta que se genera en este trabajo, se enfatiza en la resolución de problemas relacionados con situaciones cotidianas o de contextos reales como son los accidentes en el colegio, deportes extremos y las atracciones mecánicas, permitiendo un trabajo colaborativo y de autoaprendizaje. Todas estas características como se expuso anteriormente, se encuentran enmarcadas en estrategias que permiten llegar a un aprendizaje significativo.

1.5 Competencias MEN

De acuerdo a la serie de Guías número 7 del ministerio de educación nacional (MEN) que especifica sobre los estándares básicos de competencias en ciencias naturales y

ciencias sociales (MEN 2004), los estándares en ciencias buscan que los estudiantes desarrollen habilidades científicas y actitudes requeridas para explorar fenómenos y resolver problemas. A partir de esta premisa se ha planeado esta propuesta para la enseñanza y aprendizaje de la cinemática y la dinámica, en donde se busca de manera explícita que los estudiantes sean capaces de resolver problemas en contextos específicos, en donde el proceso se ve enmarcado en actividades experimentales donde deberán plantear hipótesis, realizar mediciones, analizar resultados y comunicar conclusiones a partir de argumentos científicos.

En los estándares en ciencias naturales se incluye la enseñanza de la física. En primaria y la básica secundaria, se clasifica como *entorno físico* mientras que en la media vocacional es catalogada como *procesos físicos*. La propuesta hecha, está incluida en el componente de mecánica de partículas por medio de los siguientes estándares: *“Establezco relaciones entre las diferentes fuerzas que actúan sobre los cuerpos en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme y establezco condiciones para conservar la energía mecánica”* y *“Modelo matemáticamente el movimiento de objetos cotidianos a partir de las fuerzas que actúan sobre ellos”*.

2. Análisis y construcción de herramientas metodológicas

2.1 Análisis del “*force concept inventory*” (FCI)

Para identificar los errores conceptuales que tienen los estudiantes respecto a algunos conceptos de dinámica y cinemática, y con el fin de generar una propuesta hacia la enseñanza y aprendizaje de estos temas, se utilizó el cuestionario “*Force Concept Inventory*” (FCI)⁴. Este cuestionario desarrollado por HESTENES D., WELLS M., y SWACKHAMER (1992), busca indagar el nivel de comprensión que tienen los estudiantes de los conceptos de fuerza y movimiento. En nuestro caso el FCI se aplicó en dos cursos de grado décimo cada uno con 35 estudiantes, su objetivo es identificar las falencias de acuerdo a situaciones específicas donde intervienen fuerzas y se generan movimientos.

A continuación se muestran las estadísticas que describen los resultados obtenidos en la prueba por cada uno de los cursos y para el grupo en general de grado décimo del IED Tibabuyes Universal.

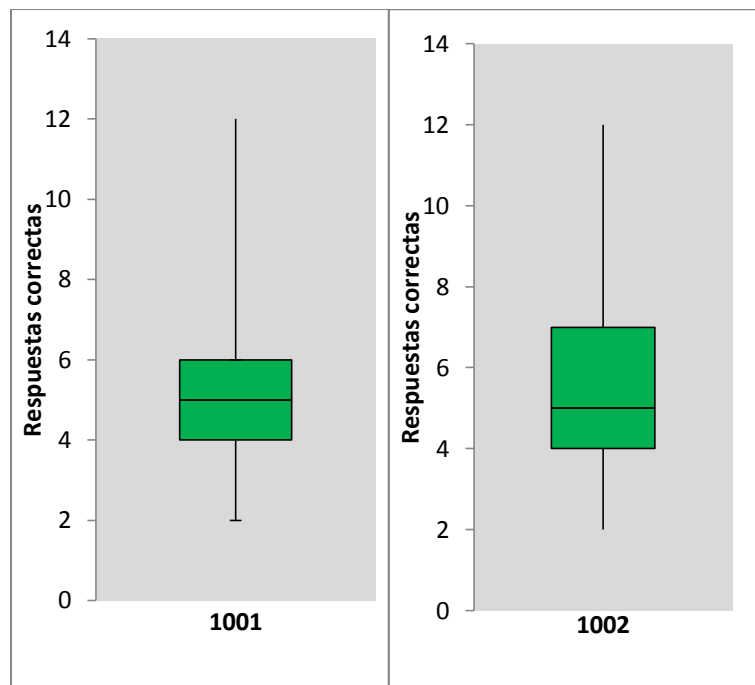
⁴Véase en: <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>

Curso	N	Mínimo	Máximo	Media	Varianza	Desviación Típica	rang o	Moda
1001	35	2	12	5,26	4,26	2,06	10	4
1002	35	2	12	5,51	5,49	2,34	10	6
Ambos cursos	70	2	12	5,39	4,82	2,20	10	6

Tabla 2.1. Estadísticas descriptivas de la prueba FCI aplicada a los estudiantes de grado décimo.

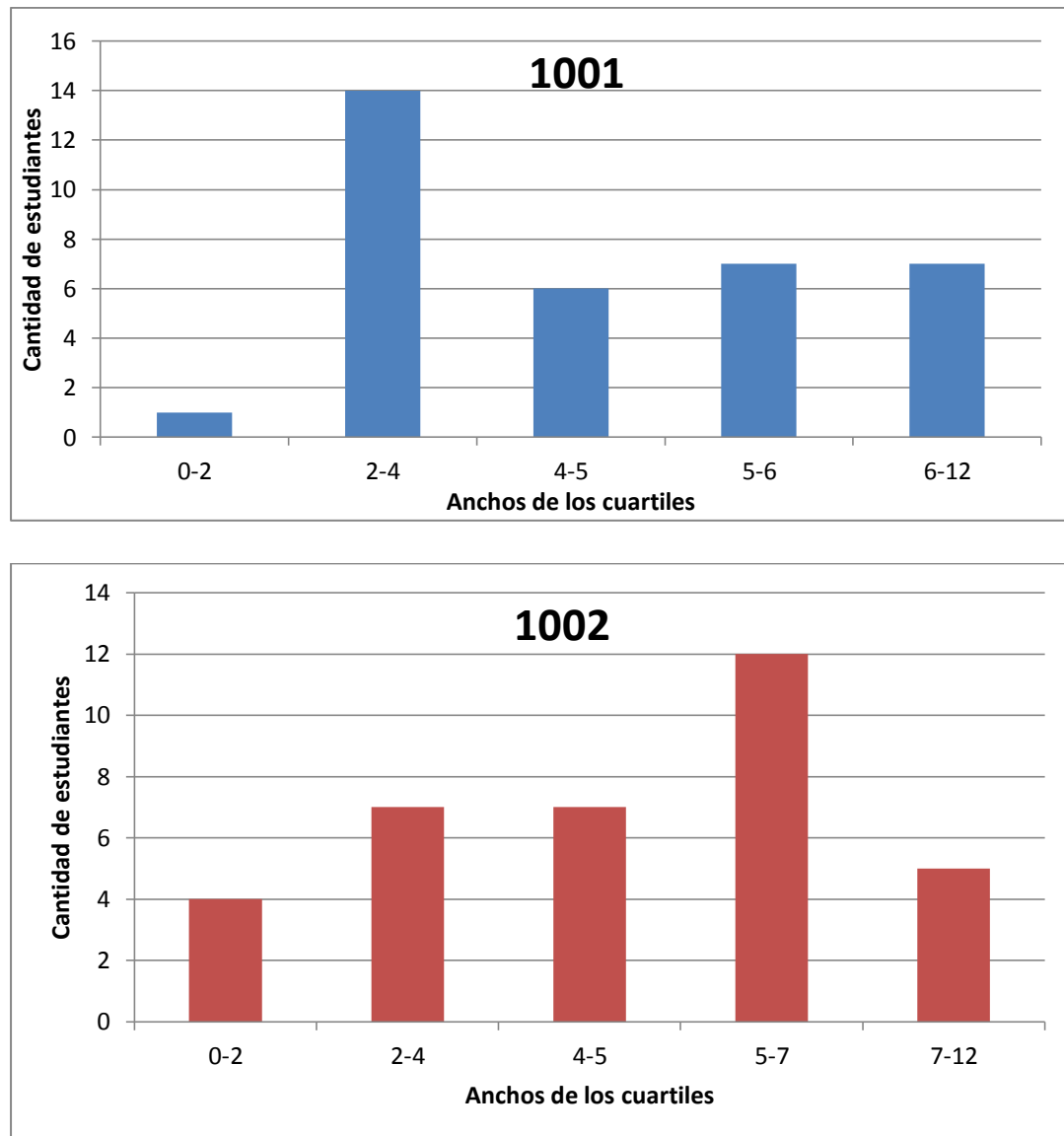
En las estadísticas descriptivas a nivel general del curso, se puede observar que los estudiantes de grado 1002 consiguieron resultados un poco más altos, teniendo como el dato más frecuente el de 6 respuestas correctas, esto se refleja en que además su media es un poco más alta. Por otra parte, la desviación típica del grado 1001 fue más baja, indicando que a pesar que los resultados fueron relativamente más bajos que en 1002, el grupo es más homogéneo en cuanto a los conocimientos básicos relacionados con fuerza y movimiento. En términos generales el porcentaje de aciertos es muy bajo, cercano al 18%, lo que significa que hay grandes falencias en determinados conceptos que describiremos más adelante con más detalle.

A partir de los diagramas de cajas se observa un mejor resultado en el grado 1002, a pesar que la mediana es igual en ambos cursos, se muestra una mayor cantidad de estudiantes con resultados por encima de la mediana. El valor máximo de respuestas correctas obtenido en ambos cursos por un estudiante fue de doce y el mínimo fue de dos, lo que genera un rango de 10 respuestas correctas.



Gráfica 2.1. Comparación de los diagramas de cajas para 1001, 1002 y los dos cursos unidos respectivamente.

De igual forma, en los histogramas de frecuencia para los anchos extraídos de los cuartiles mostrados en el diagrama de cajas, se confirma que en el grado 1002 se encuentra una mayor distribución de estudiantes en puntajes más altos para la prueba, ya que de 5 a 7 respuestas correctas son logradas por 12 estudiantes, mientras que en 1001 se puede observar que 14 estudiantes logran responder correctamente tan solo de 2 a 4 preguntas. A continuación se presentan los histogramas de frecuencias de cantidad de estudiantes por cada rango de aciertos, para cada uno de los cursos del IED Tibabuyes Universal.



Gráfica 2.2. Histogramas de frecuencias para cada uno de los cursos.

Para el posterior análisis de las preguntas con mayor o menor dificultad se ha tenido en cuenta el índice de dificultad calculado para todos los estudiantes que realizaron la prueba y la cantidad de aciertos por cada pregunta que tuvo cada curso que se puede observar en el anexo A.

Hay algunas preguntas donde los dos cursos obtuvieron resultados muy bajos, por ejemplo la pregunta número 11 solo la respondieron correctamente 6 estudiantes. La respuesta b de la pregunta 11 fue la opción elegida por cerca del 30% de los estudiantes; de acuerdo a la tabla de revisión del FCI Hecha por David Hestenes y Jane Jackson en el

otoño de 2007⁵, indica que los estudiantes creen que el movimiento se da por algo implantado en el cuerpo debido al golpe recibido, lo que en la edad media recibió el nombre de la teoría del ímpetu.

En la pregunta 20 sólo 4 estudiantes la respondieron correctamente y cerca del 35% respondieron la opción C. Esto indica que los estudiantes no reconocen una diferencia entre la velocidad y la aceleración. Seguramente consideran que el bloque B tiene una mayor aceleración que el bloque A porque recorre una mayor distancia en un mismo tiempo, esto indicaría que efectivamente el bloque B tiene una mayor velocidad que A pero no indica que su aceleración también sea mayor.

Otra de las preguntas con bajo número de respuestas correctas en los dos cursos es la pregunta 28 donde solo 5 estudiantes la respondieron correctamente. Esta pregunta notoriamente está relacionada con la tercera ley de Newton. En las respuestas dadas por los estudiantes se encuentran en mayor proporción la B, C y D donde sus concepciones pueden ser que una mayor masa implica una mayor fuerza, un agente activo produce mayor fuerza o que el agente activo, en este caso el estudiante a, es el único que realiza una fuerza.

Al realizar un análisis individual de cada uno de los cursos observamos algunas diferencias en las respuestas con mayor puntaje y las de menor puntaje.

Por ejemplo para el grado 1001, se encuentra que las preguntas con mayores aciertos son la 6 y la 24 con 16 respuestas correctas cada una. Según Mosquera Medina (2012) en la clasificación hecha sobre los contenidos que analizaba cada pregunta, encuentra que estas preguntas están enmarcadas en las concepciones de la primera ley de Newton o ley de la inercia, indicando que los estudiantes de este grado, son capaces de predecir el movimiento natural que lleva un cuerpo, es decir consideran que un cuerpo sigue moviéndose de acuerdo a las condiciones dadas.

En cuanto a las preguntas con más bajos aciertos se encuentran la 19, 20 con un solo acierto y la 26 con dos aciertos. Las preguntas 19 y 20 evalúan conceptos de cinemática y la pregunta 26, con conceptos relacionados con la segunda ley de Newton. En cuanto a

⁵Véase en: <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>

las preguntas 19 y 20 se puede decir que los estudiantes no diferencian en un diagrama la posición de un cuerpo con su velocidad, en este caso se hace necesario construir gráficas de posición y velocidad en diferentes movimientos. Respecto a la pregunta 26, se obtiene concepciones erróneas como creer que la velocidad es proporcional a la fuerza aplicada o que las fuerzas hacen que la aceleración alcance la velocidad final del movimiento.

Para el grado 1002 se encontró que las preguntas con mayor cantidad de aciertos son la 1 y la 12 con 14 y 19 aciertos respectivamente. Estas preguntas hacen referencia a conceptos de cinemática algo contradictorio con las respuestas bajas de las preguntas 19 y 20 que también evalúan conceptos de cinemática, aunque en la pregunta 1 y 12 hace referencia a la predicción de movimientos relacionados con su realidad inmediata mientras los bajos resultados de las preguntas 19 y 20 hacen referencia al análisis de gráficas.

Las preguntas con menor cantidad de aciertos en 1002, son la 4 y la 28 con 1 y 2 aciertos respectivamente. La pregunta 4 refiere al par de fuerzas llamado acción y reacción, es decir tiene que ver con la tercera ley de Newton, aquí cerca del 60% de los estudiantes consideran que una mayor masa implica una mayor fuerza y es una pregunta similar a la pregunta 28, lo que indica que existen grandes falencias en identificar fuerzas de acción y reacción; teniendo la concepción errónea que sólo aquel objeto de mayor masa o que se muestra activo en la interacción entre dos cuerpos, es el único que realiza una fuerza.

Como se ve en el análisis individual de los dos cursos, se evidencian falencias en diferentes contenidos para los dos grados. Esto puede obedecer a que en algunos cursos de ciencias naturales que vieron de 6 a 9, en ocasiones el profesor explicaba algunas concepciones de física cuando culminaba con los contenidos de biología, entonces quizás algunos estudiantes todavía guardan algunas nociones de fuerza y movimiento; y por eso no se pueden considerar cursos homogéneos en cuanto a las concepciones básicas que tienen de mecánica clásica.

Algunas conclusiones que se pueden obtener del análisis hecho anteriormente son:

Los dos grados de décimo del IED Tibabuyes Universal, no son homogéneos en cuanto a las falencias observadas en cada uno de los cursos, como se observa en 1002 existe

mayor dificultad en identificar fuerzas que hacen dos cuerpos cuando interactúan entre sí (fuerzas de acción y reacción) y los estudiantes de 1001 muestran un menor análisis de diagramas de objetos en movimiento.

En ambos cursos existe la noción que los cuerpos tienden a mantener su estado natural de movimiento ya sea cuando se mueve con velocidad constante o cuando el objeto se encuentra en reposo. Esto muestra que las nociones de cinemática y la primera ley de Newton las relacionan adecuadamente con su realidad y pueden predecir lo que sucedería en un movimiento, pero se hace necesario definir con mayor rigurosidad conceptos como velocidad, posición, aceleración y fuerza.

En términos generales las preguntas del FCI se consideran en mayor proporción, muy difícil y difícil de acuerdo al índice de dificultad para cada una de las preguntas. Eso se puede evidenciar en la siguiente tabla donde se observa que el 83 % de las preguntas son muy difíciles y el restante 17 % son difíciles.

Nivel de dificultad	Rango del índice de dificultad	Número de preguntas
Muy difícil	0-0,25	25
Difícil	0,26-0,5	5
Fácil	0,51-0,75	0
Muy fácil	0,75-1	0

Tabla 2.2. Número de preguntas de acuerdo al nivel de dificultad mostrado por los estudiantes de grado décimo.

Como se puede evidenciar en los resultados obtenidos, se hace necesario generar una estrategia didáctica para la enseñanza y el aprendizaje de la cinemática y dinámica para lograr una mejor comprensión de estos temas importantes en física de grado décimo.

2.2 Problemas

Los problemas que se construyeron como base de la propuesta didáctica basada en la metodología de aprendizaje basado en problemas (ABP), fueron elegidos de acuerdo a accidentes que se han dado en la IED Tibabuyes Universal y temas de interés para los estudiantes como son los parques de diversiones y deportes extremos. Estos temas elegidos para los problemas a trabajar, se discutieron con los docentes del área de

ciencias naturales de la institución educativa, con el fin de generar una conciencia frente a los accidentes que pueden ocurrir en el colegio y buscar herramientas que motiven a los estudiantes a aprender los conceptos físicos relacionados con la dinámica y la cinemática.

Las inquietudes o preguntas realizadas en cada uno de los problemas han sido orientadas con el fin que los estudiantes lleguen a la solución que se ha planteado en esta propuesta didáctica. Algunos temas o conceptos que se pretenden abarcar con la solución de los problemas son la caída libre, tipos de movimiento, ley de Hooke, leyes de Newton, fuerzas, aceleración, velocidad, distancia recorrida y desplazamiento. A continuación se presentan los tres problemas tenidos en cuenta en la propuesta didáctica basada en ABP para la enseñanza y aprendizaje de la cinemática y la dinámica.

2.2.1 Problema 1. Accidentes en el colegio

Según la OMS (organización mundial para la salud) se define un accidente como: “un acontecimiento fortuito, generalmente desgraciado o dañino, independientemente de la voluntad humana, provocado por una fuerza externa que actúa rápidamente y se manifiesta por la aparición de lesiones orgánicas o trastornos mentales” Beckdett (1999)⁶

Situaciones catalogadas como accidentes en el colegio no resultan ser así, ya que no son tan inevitables ni tan fortuitos. Por ejemplo en el Colegio Tibabuyes Universal, algunos estudiantes en ocasiones arrojan intencionalmente objetos como monedas, balones, clavos, residuos del refrigerio entre otros desde el tercer piso hacia la cancha de microfútbol. Esta actividad puede ser riesgosa para las personas que se encuentren en el primer piso ya que puede generar una lesión física, aunque en algunas ocasiones objetos como clavos o monedas han producido lesiones superficiales sobre los estudiantes, en otros casos, estos mismos objetos no generan ningún tipo de daño corporal. ¿Cómo es posible cuantificar el daño que podría generar a las personas esta mala costumbre? Si se

⁶Algunas definiciones de la OMS se encuentran en los textos escritos sobre salud pública de los diferentes países, véase en Beckdett E. Los accidentes domésticos. Cuaderno de Salud Pública. 1999; (26): 1195.

dejan caer diferentes tipos de objetos o cayeran en diferentes partes del cuerpo, ¿existirían diferencias en el daño producido?

2.2.2 Problema 2. Parkour

El *Parkour* es una disciplina deportiva que surgió en Francia gracias a David Belle como alternativa para realizar entrenamiento deportivo en lugares abiertos. Consiste en moverse por cualquier espacio urbano o natural, usando movimientos fluidos y consistentes. La flexibilidad, la resistencia, la fuerza y el equilibrio son algunos atributos que deben tener los *Traceur* (practicante de *parkour*), para sortear los obstáculos de una forma fácil, rápida y segura. Para practicar este deporte, se debe tener conciencia del riesgo que se tiene al sortear los diferentes obstáculos y parte del entrenamiento se hace de forma segura para que el *Traceur* domine sus movimientos y tenga mayor seguridad en ellos. El entrenamiento resulta ser de vital importancia ya que un movimiento en falso puede ocasionar lesiones graves o un mal movimiento hecho repetidamente puede generar una **condición física inadecuada** es decir, movimientos inusuales que afectarían de manera permanente el cuerpo a largo plazo. Si tú practicaras esta disciplina, ¿Cómo lograrías ser consciente del tipo de movimientos necesarios para no poner en riesgo tu integridad física? ¿Cómo reducirías el alto impacto sufrido en las caídas? ¿Desde la física podrías encontrar argumentos que ayuden a ver si los movimientos que evitan poner en riesgo tu integridad física son ciertos? ¿Es posible medir el impacto de estos movimientos?

2.2.3 Problema 3. Parques de diversiones “*Súper shot*”

La torre “*Súper shot*” es una atracción mecánica que se encuentra en el parque Salitre Mágico. Esta atracción consiste en una caída vertical desde 38 metros de altura, lo que equivale a dejarse caer de un edificio de 15 pisos. Según la página web del parque Salitre Mágico⁷ en esta caída la persona alcanza a experimentar una velocidad cercana a los 76 km/h hasta llegar a una zona de frenado magnético, que permite reducir la velocidad de manera que no presente ningún riesgo para la persona que se encuentre en

⁷Esta información fue extraída de la página del parque Salitre Mágico de Bogotá. Véase en, <http://salitremagico.com.co/atracciones/alto-impacto/torre-super-shot/1062>

la atracción. Los límites de velocidad o distancia de caída libre, son algunas variables que son controladas cuidadosamente, por ejemplo se debe tener en cuenta la distancia de frenado magnético sea adecuada para que la desaceleración experimentada por los ocupantes no sea lo suficientemente grande para generar lesiones o molestias físicas.

En esta atracción, ¿es posible analizar cada uno de los tramos recorridos por el vagón que transporta a las persona? ¿Cómo se puede corroborar que la información suministrada por la página web del parque es correcta? Existe alguna forma de comprobar experimentalmente porqué es importante ampliar la distancia de frenado para evitar complicaciones físicas en los ocupantes de la atracción mecánica. Si se frenara completamente la atracción cuando llega a su velocidad máxima, ¿qué riesgos tendría para la salud de los ocupantes?

2.3 Solución propuesta de los problemas planteados

A continuación se presenta una posible solución teórica de cada uno de los problemas planteados en la propuesta, pero puede suceder que los estudiantes abarquen cada uno de los problemas desde diferentes puntos de vista y el orden en que lleguen a los resultados no sea el mismo que se expresa en este apartado.

2.3.1 Solución problema 1. Accidentes en el colegio

El problema se da cuando cae un objeto desde el tercer piso del colegio y puede causar alguna lesión a los estudiantes que se encuentran en el patio. El siguiente diagrama muestra algunas variables que se tendrán en cuenta para realizar el desarrollo teórico del problema.

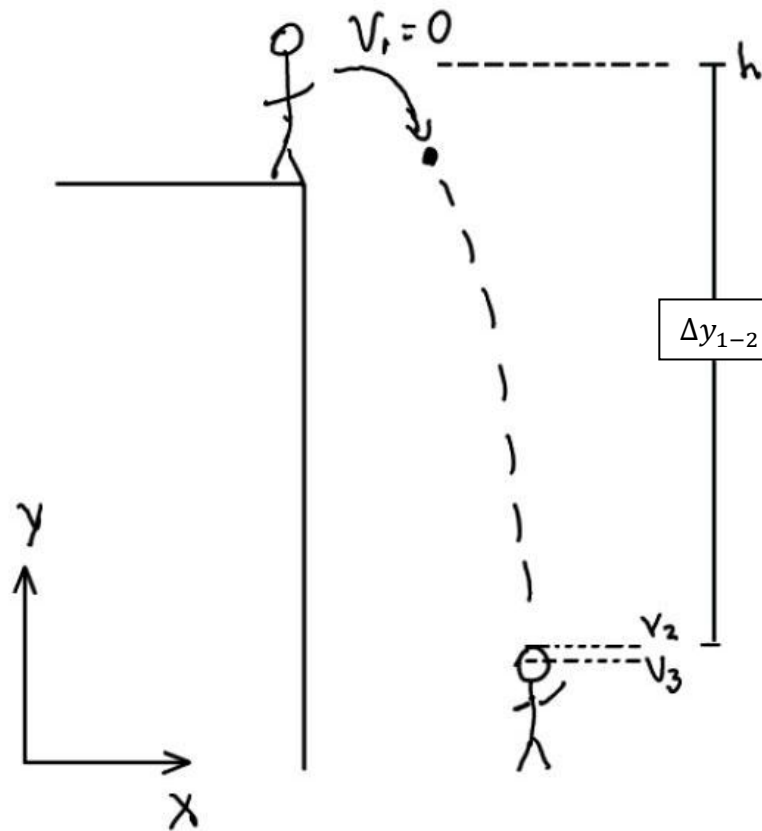


Figura 2.1. Esquema que representa el problema de la caída de un objeto.

Algunos valores que se tienen de la caída libre del objeto son la distancia recorrida Δy_{1-2} , la velocidad inicial \vec{v}_1 , la aceleración de la gravedad g que de acuerdo a <http://www.ptb.de/cartoweb3/SISproject.php> para Bogotá es de $9,7738 \frac{m}{s^2}$.

Con esta información, se puede obtener la velocidad con que el objeto golpea a la persona \vec{v}_2 , que se encuentra en el patio mediante la siguiente expresión:

$$\vec{v}_2 = \sqrt{2 \Delta y_{1-2} \vec{g}} \quad (2.1)$$

La desaceleración producida en la moneda por el cuerpo se halla de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\vec{a}_{coll} = -\frac{v_2^2}{2 \Delta y} \quad (2.2)$$

Suponiendo que el objeto queda incrustado, entonces la velocidad final del objeto es cero y la aceleración de colisión es:

$$\vec{a}_{coll} = -\frac{\vec{v}_2}{t_{coll}} \quad (2.3)$$

La distancia que penetra el objeto Δp durante la colisión se puede determinar de la siguiente forma:

$$\Delta p = \frac{\vec{v}_3^2 - \vec{v}_2^2}{2 \cdot \vec{a}_{coll}} \quad (2.4)$$

En donde \vec{v}_3 es la velocidad terminal del objeto después de incrustarse en el estudiante que se encuentra en el patio, que para este caso equivale a cero.

$$\Delta p = -\frac{\vec{v}_2^2}{2 \cdot \vec{a}_{coll}} \quad (2.5)$$

Donde \vec{a}_{coll} es la desaceleración que tiene el objeto durante el momento del choque hasta quedar detenido completamente. Esta aceleración se toma como constante entonces la variación de la velocidad será uniforme desde que el objeto impacta al estudiante, hasta que se detiene después de incrustarse en él.

Experimentalmente se puede medir Δp dejando caer objetos de diferentes formas sobre una solución de gelatina sin sabor que puede simular los tejidos blandos del cuerpo. Luego, reemplazando este valor y el de la velocidad final de la caída libre \vec{v}_2 , se puede obtener el valor de la desaceleración del objeto.

$$\vec{a}_{coll} = \frac{\vec{v}_2^2}{2 \cdot \Delta p} \quad (2.6)$$

Con el valor de la desaceleración del objeto en el momento del choque, se puede calcular la fuerza que se genera a partir de la expresión de la segunda ley de Newton para un objeto de masa constante.

$$\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{m \cdot \vec{v}_2^2}{2 \cdot \Delta p} \quad (2.7)$$

También se podría hallar en tiempo de colisión mediante la expresión:

$$t_{coll} = \frac{2 \cdot \Delta p}{\vec{v}_2} \quad (2.8)$$

Además se tiene por conservación de la cantidad de movimiento que:

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}_1' + m_2 \cdot \vec{v}_2' \quad (2.9)$$

Donde \vec{v}_1 es la velocidad del objeto que golpea a la persona, \vec{v}_2 es la velocidad de la persona antes del choque, \vec{v}'_1 es la velocidad del objeto después del choque, \vec{v}'_2 es la velocidad de la persona después del choque, m_1 es la masa del objeto que golpea la persona y m_2 es la masa de la persona que es golpeada. La fracción de velocidad que regresa al cuerpo se define mediante el coeficiente e .

$$e = -\frac{\vec{v}'_1 - \vec{v}'_2}{\vec{v}_1 - \vec{v}_2} \quad (2.10)$$

Estimando que la masa de la persona es mucho mayor a la masa del objeto que golpea se puede decir que su velocidad inicial y final es cero.

$$e = \frac{\vec{v}'_1}{\vec{v}_1} \quad (2.11)$$

Si $e = 1$, entonces el choque es completamente elástico y si $e = 0$ el choque es completamente inelástico.

En la siguiente tabla se puede observar algunos valores de e cuando golpean algunos objetos con el cuerpo (Irving, 2007; 156). Se estima como velocidad lenta, aquella que es menor a 18 mph.

Pelota	Superficie	e	Velocidad
Golf	Piso	0,83-0,89	Lenta
Tenis	Raqueta	0,76-0,88	Lenta
Basquetbol	Piso de madera	0,76	Lenta
Voleibol	Piso de madera	0.74	Lenta
Futbol	Piso	0,69-0,80	Lenta
Beisbol	Bate	0,55	Típica del lanzador

Tabla 2.3. Coeficiente de restitución para algunas pelotas.

A partir del coeficiente de restitución se puede calcular la velocidad final del objeto y la persona de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$\vec{v}'_1 = \frac{\vec{v}_1(m_1 - em_2) + \vec{v}_2(m_2 + em_2)}{m_1 + m_2} \quad (2.12)$$

$$\vec{v}'_2 = \frac{\vec{v}_1(m_1 - em_1) + \vec{v}_2(m_2 + em_1)}{m_1 + m_2} \quad (2.13)$$

Ahora también se puede mirar que el daño que produce un objeto depende del área que impacte en el momento del choque, es decir, de acuerdo a la posición que tiene el objeto en el momento del impacto, luego la fuerza con que llega el objeto a la persona, va ser la misma si se lanza desde la misma altura y recorre la misma distancia, pero el daño varía de acuerdo al área de impacto. Para ello es indispensable incluir el concepto de presión.

$$P = \frac{\vec{F}}{A} = \frac{m \cdot \vec{v}_2}{A \cdot t_{coll}} \quad (2.14)$$

Experimentalmente se puede evidenciar lanzando objetos en diferente posición sobre superficies gelatinosas y así mirar la distancia que se hunde dependiendo la posición en la que cae el objeto.

2.3.2 Solución problema 2. *Parkour*

Cuando se practica este deporte los *traceur* pueden sufrir accidentes como caer de grandes alturas cuando fallan un salto o también en algunos de sus ratos se contempla lanzarse desde alturas considerables. En este caso, el *traceur* intenta saltar una altura h y cae al suelo como se muestra en la figura 2.2.

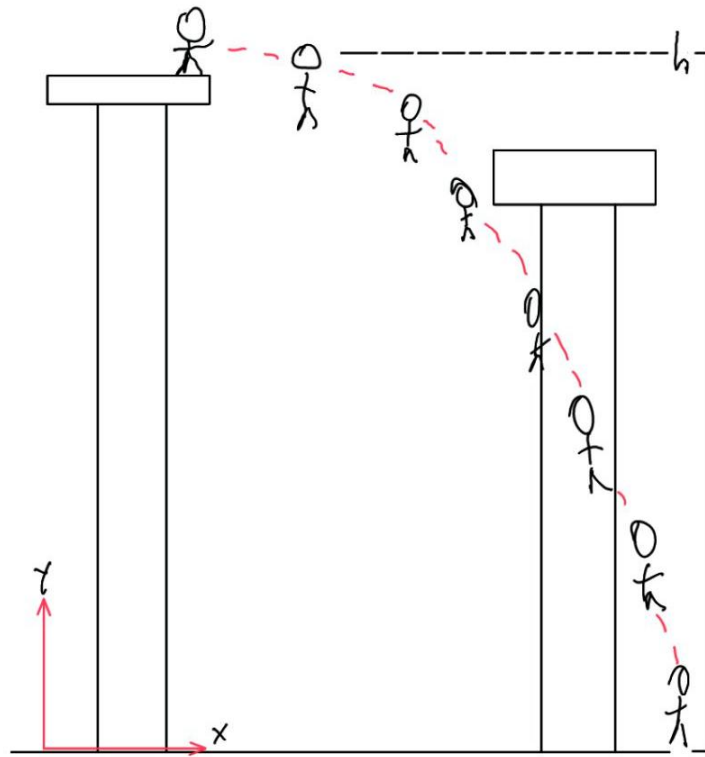


Figura 2.2. Caída de una persona practicando parkour.

Cuando se trata de la caída libre de una persona, se puede calcular a partir de la cinemática o la conservación de la energía, entonces la velocidad con que la persona entra en contacto con el suelo se halla mediante la siguiente expresión.

$$\vec{v}_2 = \sqrt{2gh} \quad (2.15)$$

Si se toma Δy como la compresión que tiene la suela de los zapatos de la persona que cae libremente, de acuerdo a Irving (2006) la compresión sufrida por la suela es de 1 cm y el tiempo de colisión $t_{coll} \approx 5 \text{ ms}$.

La desaceleración que experimenta la persona en su caída es:

$$\vec{a}_{des} = \frac{\vec{v}_2^2}{2 \cdot \Delta y} \quad (2.16)$$

Donde \vec{v}_2 es la velocidad con que impacta la persona contra el suelo que es la velocidad calculada en la ecuación 2.15. Posteriormente se puede calcular la fuerza que experimenta la persona en esta desaceleración en el momento que impacta en el suelo de acuerdo a la segunda ley de Newton.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}_{des} \quad (2.17)$$

Donde m es la masa de la persona.

De forma experimental los estudiantes pueden calcular el área de la suela de los zapatos que usan marcándolo sobre una hoja milimetrada y contando el número de cuadritos que contiene la hoja y posteriormente multiplicando por el área de un cuadrito.

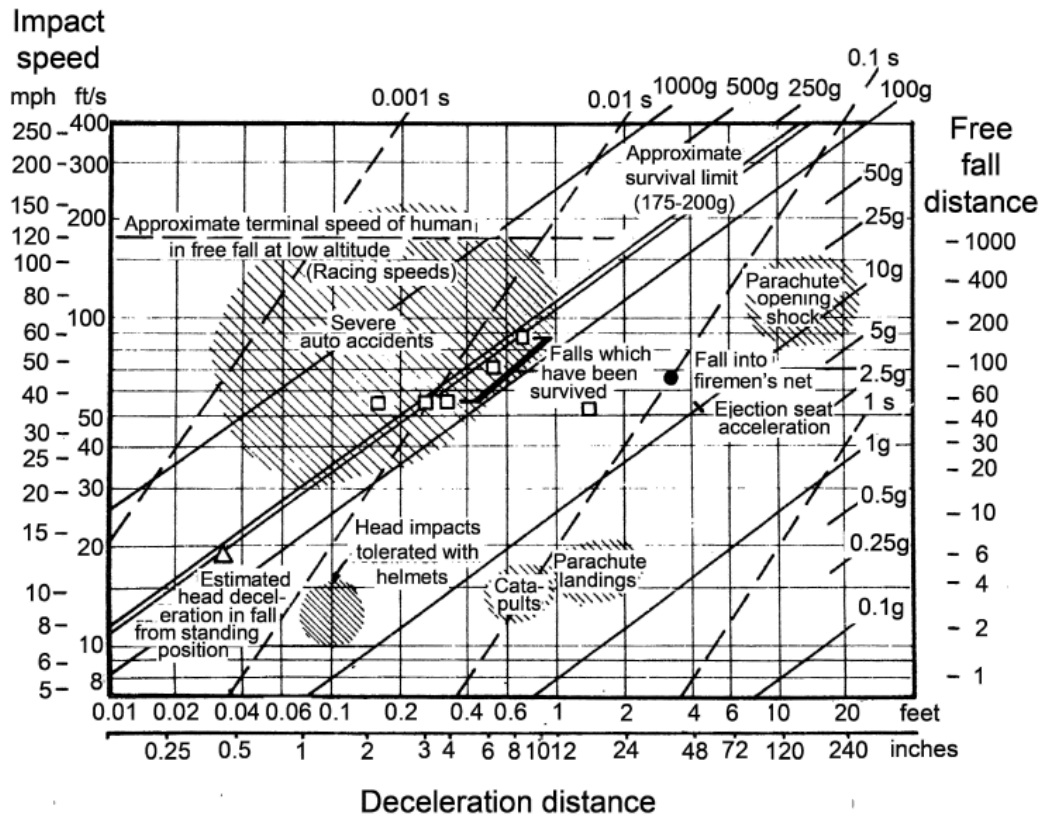
Teniendo la fuerza y el área, se puede calcular la presión que se ejerce sobre el cuerpo en el impacto.

$$P = \frac{\vec{F}}{A} \quad (2.18)$$

También es posible calcular la fuerza haciendo que el tiempo de colisión sea menor, que es lo que hace un *Traceur* cuando amortigua la caída flexionando sus piernas, luego se puede medir el tiempo de colisión y la fuerza se puede hallar mediante la expresión:

$$\vec{F} = m \cdot \frac{\vec{v}_2}{t_{coll}} \quad (2.19)$$

Estos resultados obtenidos se pueden comparar con los de la gráfica 2.2, Irving (2006) que muestra el daño sufrido de acuerdo a la colisión. La tabla muestra diferentes medidas que se pueden lograr, a mano izquierda muestra la escala de la velocidad de impacto en millas por hora (mph) y pies por segundo (ft/s); en la parte inferior muestra la distancia de desaceleración medida en pies y en pulgadas; en la derecha de la gráfica, se muestra la escala de la distancia de caída libre medida en pies. En la parte interna de la gráfica se evidencia algunas líneas continuas que muestran el daño de acuerdo a la desaceleración producida en g y las líneas punteadas indica el tiempo de colisión.



Gráfica 2.2. Supervivencia en las colisiones, la distancia de la caída libre determina la velocidad de impacto.

Con la ayudas de los datos dados en la gráfica 2.2., se puede determinar la fatalidad que puede tener un impacto del cuerpo en caída libre contra el piso mediante el índice de severidad de Gadd (GSI) que define Irving (2006) como:

$$GSI = \int \left(\frac{\vec{a}_{des}}{\vec{g}} \right)^{2,5} dt \quad (2.20)$$

Si se asume la aceleración de frenado \vec{a}_{des} es constante, se reemplaza después de realizar la integral el valor de la aceleración en términos del cambio de velocidad en función del tiempo y resolviendo la integral se tiene que el GSI es:

$$GSI = \left(\frac{\Delta \vec{v}}{\vec{g} \cdot t_{coll}} \right)^{2,5} t_{coll} \quad (2.21)$$

Cuando este valor supera 1000 unidades medidas en segundos, hay un riesgo del 50% de una fatalidad. Si el valor es menor a 1000, no indica que no es grave, se puede generar una lesión severa, pero puede que no sea fatal.

Para el GSI se evidencia que es un valor que depende del tiempo, esta expresión definida por Irving (2006), considera el factor $t_{coll}^{2,5}$ como constante, al hacer la integral teniendo en cuenta este factor el resultado es:

$$GSI = -\frac{\Delta \vec{v}^{2,5}}{1,5\vec{g}t^{1,5}} \quad (2.22)$$

En este caso habría un factor 1,5 que se encuentra en el denominador de la expresión, podría tomarse en cuenta para realizar el cálculo del GSI.

Finalmente para el problema del *Parkour*, se puede evidenciar que existe una relación inversa entre el tiempo y la desaceleración en el momento del impacto. Esta desaceleración se puede comprobar experimentalmente midiéndola en el momento del impacto mediante el uso de un acelerómetro con una masa y resortes como el que se muestra en la figura 2.3. Con el acelerómetro se pedirá a los estudiantes que salten de una altura considerada para medir la desaceleración en el momento del impacto cuando se flexionan las piernas y cuando se cae rígidamente sobre el piso. Posteriormente se podría verificar los resultados obtenidos midiendo la aceleración con una aplicación para *Smartphone android* como es *Physicstool box*, *accelerometer monitor* o *accelerometer sensor* para corroborar que la aceleración es mayor cuando no se amortigua la caída de forma adecuada.



Figura 2.3. Acelerómetro de masa y resorte.

En este caso para la construcción del acelerómetro se requiere realizar la calibración. Inicialmente se coloca el acelerómetro horizontalmente y se marca el punto de equilibrio de la masa que en la figura es la marca de cinta blanca. Posteriormente, se coloca verticalmente el acelerómetro y se marca la distancia que se desplazó la masa hacia abajo, esta distancia hace referencia a una aceleración g . Como la fuerza ejercida por los resortes es proporcional a la elongación se mide y se marca a distancia iguales sucesivamente para obtener $2g$, $3g$, $4g$ y $5g$. Finalmente, se hace lo mismo en la otra

dirección para obtener finalmente la construcción del acelerómetro. Estas marcas se hicieron con cinta roja como se muestra en la figura 2.3.

Al colocar verticalmente el acelerómetro, los dos resortes van a quedar estirados y cada uno hace fuerza en dirección opuesta. En la Figura 2.4 se muestra el diagrama de fuerzas para la masa que se encuentra suspendida a los dos resortes del acelerómetro donde \vec{F}_1 es la fuerza ejercida por el resorte de la parte superior de la masa, \vec{F}_2 es la fuerza ejercida por el resorte de la parte inferior de la masa, x_1 la elongación del resorte 1, x_2 la elongación del resorte 2 y l_0 la longitud inicial de cada uno de los resortes utilizados.

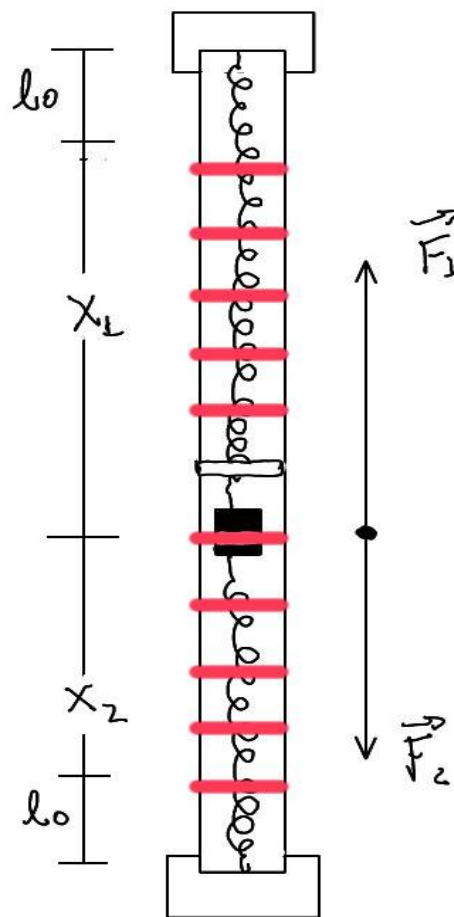


Figura 2.4. Diagrama de fuerzas para la masa del acelerómetro.

Las fuerzas que realizan los resortes del acelerómetro son las encargadas de equilibrar el peso del objeto, para que este quede suspendido, luego:

$$\vec{F}_1 - \vec{F}_2 = m \cdot \vec{g} \quad (2.23)$$

Para los acelerómetros contruidos se utilizó un par de resortes iguales, luego tienen la misma constante elástica k , entonces:

$$k = \frac{mg}{x_1 - x_2} \quad (2.24)$$

Este resultado se puede comparar calculando la constante de cada resorte por separado, colocando diversas masas sobre uno de los resortes y midiendo la elongación que alcanza, de aquí se puede realizar una gráfica de fuerza en función de la elongación y así calcular la constante elástica por medio de una regresión lineal. Otra forma de calcular la constante elástica es midiendo el periodo de oscilación y reemplazando este valor en la siguiente expresión:

$$k = \frac{4\pi^2 \cdot m}{T^2} \quad (2.25)$$

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos para la constante elástica calculada, colocando masas y mirando la elongación y midiendo el periodo de oscilación de una masa sobre un resorte. Como se construyeron dos acelerómetros con resortes diferentes, los resultados se muestran para cada uno de ellos.

	Dimensiones de los resortes		Constante elástica hallada a partir de los métodos utilizados (N/m)		
	d(cm)	l_0 (cm)	Calculo Teórico	Midiendo Elongación	Midiendo el periodo de oscilación
Resorte utilizado para el primer acelerómetro	1	10	4,15	4,77	4,56
Resorte utilizado para el segundo acelerómetro	1,5	20	22,73	22,92	22,68

Tabla 2.4. Valores obtenidos para la constante elástica de los resortes utilizados.

El cálculo teórico de la constante elástica se obtiene al reemplazar lo que se elonga cada muelle elástico cuando el acelerómetro se coloca verticalmente. Los datos utilizados se

pueden observar en la *Tabla 3.6*. Con estas diferentes formas de calcular la constante elástica de los muelles utilizados, se pretende corroborar que cualquiera de los métodos conduce a resultados similares y es una forma para que el estudiante se dé cuenta que la teoría se puede contrastar con la experiencia obteniendo resultados similares.

2.3.3 Solución problema “*Súper shot*”

Inicialmente es necesario conocer la altura desde la cual cae. En algunos parques de diversiones dan esta información pero en otros casos no. Si este es un inconveniente, se puede realizar la medición del ángulo que hay entre un observador y la parte superior de la torre (α), y la distancia horizontal entre el observador y la atracción mecánica (d) para construir un triángulo rectángulo como el que se muestra en la *Figura 2.5*.⁸

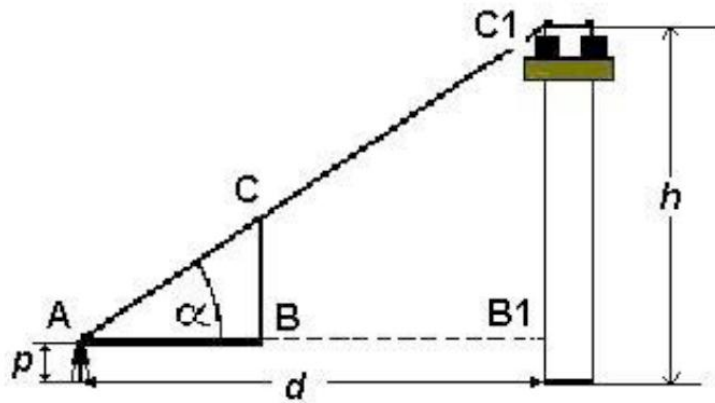


Figura 2.5. Esquema para calcular la altura del Súper shot

Por medio de las razones trigonométricas se tiene que la altura de la torre h es:

$$h = d \cdot \tan \alpha + p \quad (2.26)$$

Donde p es la distancia que hay desde el piso hasta donde el observador realiza la medición del ángulo α .

Para analizar el movimiento del *Súper shot*, es necesario dividirlo en cuatro momentos como se muestra en la *Figura 2.6*. Primero, el ascenso se puede tomar como un movimiento rectilíneo uniforme, entonces la velocidad va ser constante. Segundo, el

⁸ Imagen extraída de <http://www.scienceinschool.org/2011/issue20/amusement/spanish#w4>.

reposo que se da en la parte alta de la torre en donde la velocidad de la cabina que lleva los pasajeros es igual a cero. Tercero es la caída libre que se produce después de llegar al punto más alto, en donde el cambio de velocidad se da por acción de la fuerza de gravedad. Finalmente el cuarto momento es el movimiento desacelerado que ocurre al final del recorrido cuando empieza a funcionar el sistema de frenado magnético.

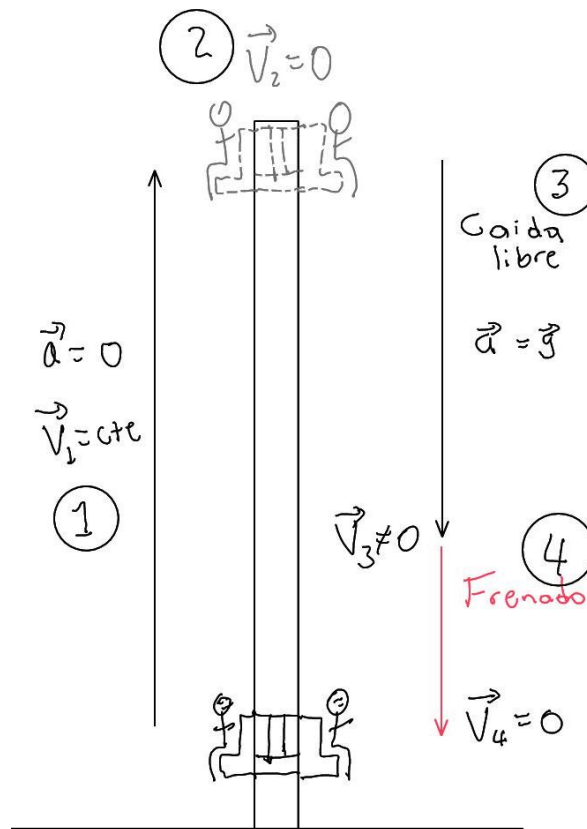


Figura 2.6. Esquema de los diferentes movimientos realizados por la cabina del súper shot durante todo el recorrido.

- **El ascenso**

Para este caso se denomina como un movimiento rectilíneo uniforme, lo que indica que su velocidad es constante, luego la expresión de movimiento para este caso es:

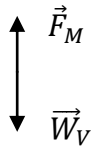
$$\vec{v}_1 = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2.27)$$

En este caso como ya se calculó la altura de la torre, se puede realizar la medición directa del tiempo de subida y calcular la velocidad media que tiene la atracción mecánica.

Al realizar el análisis dinámico, como se mueve con velocidad constante, de acuerdo a la primera ley de Newton se tiene que la sumatoria de fuerzas debe ser igual a cero.

$$\sum \vec{F} = 0 \quad (2.28)$$

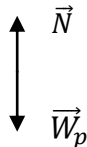
Hay una fuerza motriz (\vec{F}_M) que se aplica hacia arriba y el peso del vagón con todos sus pasajeros (\vec{W}_V) hacia abajo luego:



$$\vec{F}_M - \vec{W}_V = 0 \quad (2.29)$$

$$\vec{F}_M = \vec{W}_V \quad (2.30)$$

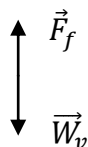
De igual forma si se hace el diagrama de fuerzas para una persona sentada sobre una de las sillas de la cabina de elevación, se tiene que el peso de la persona \vec{W}_p es igual a la fuerza normal \vec{N} que se genera en el contacto de la persona con la silla.



$$\vec{N} = \vec{W}_p \quad (2.31)$$

- **Parte superior**

En la parte superior se mantiene en reposo el vagón, luego su velocidad es cero, la sumatoria de fuerzas es igual a cero luego \vec{W}_V va ser equivalente a la fuerza que hace el sistema de frenos (\vec{F}_f) para que se quede en reposo en la parte más alta.



$$\vec{W}_V = \vec{F}_f \quad (2.32)$$

- **Caída libre**

En la caída libre se puede calcular la velocidad máxima que alcanza la atracción, que es en el instante donde se aplica los frenos antes de reducir la velocidad hasta llegar de nuevo al reposo.

$$\vec{v}_3 = \vec{v}_2 + g \cdot t \quad (2.33)$$

El tiempo de caída libre se puede medir en un video que muestre la caída en la atracción mecánica.

Otra forma de calcular la velocidad final de la caída libre, se puede alcanzar mediante la conservación de la energía mecánica.

$$\vec{v}_3 = \sqrt{2gh_{libre}} \quad (2.34)$$

Donde h_{libre} es la altura de la caída libre. En este caso no se requiere el tiempo de caída si no su altura, luego sería una buena idea realizar las dos mediciones y comparar los resultados obtenidos.

Para este caso, como se trata de un movimiento acelerado, se tiene que existe una fuerza neta hacia abajo que permite que cambie el movimiento del vagón, luego se puede aplicar la segunda ley de Newton.

$$\sum \vec{F}_{Neta} = m \cdot a \quad (2.35)$$

Donde m es la masa total del vagón y las personas que se encuentran en la atracción mecánica. Como en este trayecto se tiene que la única fuerza que actúa es \vec{W}_V entonces se puede comprobar que la aceleración experimentada en este caso es equivalente a la gravedad g .

$$-m \cdot g = m \cdot \vec{a} \quad (2.36)$$

$$-g = \vec{a} \quad (2.37)$$

Ahora cuando el sistema esta acelerado se puede tomar como un sistema no inercial en este caso se cumple:

$$\vec{F} - m\vec{a}' = mg \quad (2.38)$$

$$\vec{a}' = g + \vec{a} \quad (2.39)$$

Donde \vec{a}' es la aceleración relativa del sistema.

Ahora si $-g = \vec{a}$ entonces:

$$\vec{N} = m(\vec{g} + \vec{a}) \quad (2.40)$$

Luego, $\vec{N} = 0$ lo que indica un estado de micro gravedad en la caída, es decir las personas logran un estado de ingravidez por unos segundos durante la caída libre.

• Frenado

En esta última parte del movimiento de la atracción mecánica, se puede considerar como un movimiento desacelerado uniforme. Como ya se conoce la velocidad final de la caída libre, esta es la velocidad inicial \vec{v}_3 en este tramo y como al final del movimiento el vagón queda en reposo se tiene que su velocidad final \vec{v}_4 es cero.

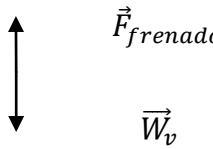
$$\vec{a}_{des} = \frac{\vec{v}_4 - \vec{v}_3}{t_f} \quad (2.41)$$

Donde t_f es el tiempo de frenado. Este tiempo requiere ser medido directamente.

Teniendo el valor de la aceleración se puede calcular la distancia que recorre el objeto hasta que se queda quieto.

$$x = \vec{v}_3 \cdot t_f + \frac{\vec{a}_{des} \cdot t_f^2}{2} \quad (2.42)$$

Finalmente se podría calcular la fuerza generada por los frenos magnéticos para detener el vagón de acuerdo a la segunda ley de Newton.



$$\vec{F}_{frenado} = m \cdot \vec{a}_{des} + \vec{W}_v \quad (2.43)$$

En el *Súper shot* también se podría usar el acelerómetro de masa y resorte si se tiene la oportunidad de hacer la visita al parque de diversiones. En este caso se puede evidenciar si hay un movimiento rectilíneo uniforme de la primera parte ya que no habría una variación en el movimiento de la masa del acelerómetro; en la caída libre la aceleración se hace nula y que en el momento del frenado magnético incrementa la aceleración.

3.Propuesta didáctica

3.1 Propuesta

La propuesta está dirigida a los estudiantes de grado décimo de la IED Tibabuyes Universal y pretende que los estudiantes aprendan conceptos relacionados con la dinámica y la cinemática de manera conjunta mediante la metodología de aprendizaje basado en problemas (ABP). No se desea que los estudiantes vean los contenidos de una manera lineal como se sugiere en los textos escolares si no que cada uno construya su propio conocimiento, gracias al avance que logre en el desarrollo de los problemas planteados.

En la IED Tibabuyes Universal existen diferentes falencias que impiden que los estudiantes se apropien de algunos conceptos de la física relacionados con la cinemática y dinámica que se enseña habitualmente en grado décimo. Entre ellas están: la poca intensidad horaria, la gran cantidad de contenidos que se deben incluir partiendo de los estándares y competencias en ciencias y la irrelevancia que sienten los estudiantes frente a los contenidos vistos

En cuanto a las falencias conceptuales que se identificaron mediante la aplicación del *Force Concept Inventory* desarrollado por HESTENES D., WELLS M., y SWACKHAMER (1992), se pretende que los estudiantes identifiquen las diferencias que existen entre conceptos de velocidad y aceleración; reconozcan que en la acción de una fuerza sobre un cuerpo existe una reacción en dirección opuesta de igual magnitud; que identifiquen el concepto de aceleración visto desde la cinemática y la dinámica y apliquen correctamente las leyes de Newton a situaciones específicas establecidas. Es en relación a estas falencias, que se puede contribuir mediante la propuesta didáctica que se presenta a continuación.

La propuesta se diseña para 7 sesiones de 110 minutos cada una, donde se realizará gran parte del trabajo, aunque los estudiantes requieren de dedicar por lo menos otros

110 minutos extras por cada sesión para revisión conceptual y profundizar en los contenidos necesarios para llegar a los resultados esperados. En la primera sesión se hace la presentación de los problemas a desarrollar, se indaga acerca de lo que ellos piensan o saben sobre la física que implica la solución de los problemas y se hacen los grupos de trabajo. En la segunda sesión se focaliza el problema identificando la información que se tiene, que información hace falta y que prácticas experimentales pueden ser útiles para llegar a la solución esperada para estos problemas. En la tercera sesión los estudiantes de cada grupo deben evidenciar que reconocen los conceptos básicos para dar solución a los problemas como son movimiento uniforme, movimiento acelerado, aceleración, caída libre, fuerzas, ley de Hooke y las leyes de Newton. En la cuarta sesión es necesario planear una solución, entonces es indispensable que los estudiantes planteen una solución teórica, identificando variables, planteando ecuaciones y generar un esquema de la solución matemática que presentan para cada problema. En la quinta sesión se realiza la ejecución experimental y construcción del acelerómetro, para ello en las anteriores sesiones deben de haber planificado qué experimentos son útiles para resolver parte de los problemas. En la sexta sesión se realizará el análisis experimental, acá realizarán gráficas calcularán variables, encontrarán relaciones y calcularán errores de las medidas realizadas en algunos de los casos. Finalmente en la sesión 7 los estudiantes comunicarán los resultados obtenidos de la solución de los problemas planteados mediante una exposición oral a todos los estudiantes del curso.

3.1.1 Sesión 1: Presentación de los problemas.

Tiempo estimado: 110 minutos

Objetivos

- Presentar los problemas que deben desarrollar los estudiantes.
- Comprender cada uno de los problemas planteados.
- Organizar los grupos de trabajo y elegir el problema de mayor gusto o motivación por cada uno de los grupos.
- Discutir posibles soluciones de cada uno de los problemas.

Conceptos previos: Ninguno.

Materiales: Problemas presentados a los estudiantes (ver página 26), videos ilustrativos.

Descripción: La sesión se divide en cuatro partes. En la primera parte se hace una introducción al trabajo y la estrategia que se desea ejecutar, indicando que desde esta sesión trabajaran en grupos cooperativos y que cada grupo tendrá que resolver uno de los problemas que se plantearan a continuación; posteriormente se hace lectura de cada uno de los problemas mostrando un breve video que servirá para guiar un poco las situaciones planteadas y mostrar como la física nos puede servir como herramienta para resolver cada una de las situaciones. Los enlaces de los videos seleccionados para esta sesión son:

- <http://www.youtube.com/watch?v=WIBzZL4JR4s> Enlace que permite mostrar en qué consiste la atracción del *Súper shot* que se encuentra en el parque Salitre Mágico.
- <https://www.youtube.com/watch?v=WEeqHj3Nj2c> Enlace para ver caídas libres de personas practicando *Parkour* cuando lo realizan de forma correcta y segura, se recomienda ver de 1:07 a 3:00.
- <https://www.youtube.com/watch?v=f7g6d7npP4E> De este enlace se puede ver el primer accidente donde cae libremente el *Traceur* desde una gran altura y es la situación que se plantea en el problema a resolver.

Después de identificar los problemas se procede a organizar los grupos de trabajo, teniendo en cuenta el interés que tengan por abordar cada problema planteado. Cada grupo será de 3 o 4 estudiantes dependiendo la cantidad de estudiantes que haya en cada curso.

Finalmente se hacen las preguntas que se plantean en cada uno de los problemas y se induce a pensar si la física es relevante para resolver cada una de las cuestiones planteadas en los problemas.

Metodología: La clase se hace enmarcada en la metodología de aprendizaje basado en problemas en donde el docente hace las veces de guía, se limita a mostrar la información e indicar la importancia o relevancia que tienen los problemas en un contexto real, los estudiantes son los encargados de elegir cual problema genera una mayor motivación y plantean sus ideas previas frente a factores que pueden ser importantes para resolver cada problema.

Actividad complementaria: Se pedirá a los estudiantes que busquen información que permita responder las situaciones planteadas. Se puede pedir a los grupos que eligieron el problema de las atracciones mecánicas que visiten la siguiente página web <http://www.scienceinschool.org/2011/issue20/amusement/spanish> y revisen toda la información necesaria sobre las torres de caída. A los estudiantes que eligieron el problema del *Parkour* y los accidentes en el colegio, se puede pedir que lean el apartado 3.8 del libro *physics of the human body* de Irving Herman, que habla sobre las colisiones del cuerpo humano. Como este libro se encuentra en inglés, es posible que se pueda trabajar su traducción desde la clase de inglés y posteriormente hacer una discusión en clase para identificar si lograron entender la información que se da en el apartado sugerido. El libro se puede descargar libremente en el siguiente enlace: <https://app.box.com/s/gjed36681tea356peu3a>

3.1.2 Sesión 2: Focalizar los problemas

Tiempo estimado: 110 minutos

Objetivos:

- Identificar la información que ya se tiene y la necesaria para resolver los problemas.
- Reconocer problemas independientes o más pequeños inmersos en los problemas planteados inicialmente.

Conocimientos previos: Información general sobre los problemas planteados.

Materiales: Información consultada, lectura realizada y revisión de página web.

Descripción: Esta sesión se hace en tres momentos, en primera instancia se pide que hagan un diagrama o imagen que describa el problema sugerido mostrando elementos importantes de él, por ejemplo como es el movimiento de un objeto cuando cae, que sucede con un objeto cuando choca con el cuerpo humano, qué diferencias encuentra en los movimientos que se observan en el *Súper shot*, cómo debe caer un *Traceur* para evitar daños físicos o indicar que fuerzas actúan en los movimientos producidos en cada problema. Es importante que los estudiantes etiqueten toda la información conocida, en caso que no identifiquen todo lo que conocen es indispensable que el tutor oriente que información pueden obtener. Si hay información que ellos no conozcan, se cuenta con

textos escolares en la IED Tibabuyes Universal, que ellos pueden consultar como Física 10 de voluntad o física 1 de Santillana, aunque previamente se ha hecho una búsqueda de información necesaria para abordar los problemas.

Posteriormente, es necesario que el estudiante identifique las preguntas que hay en cada problema, para ello deben hacer una nueva lectura e identificar qué elementos no se conocen. Aquí también deben identificar problemas inmersos en cada uno de los problemas que deben solucionar, como por ejemplo, cómo medir la desaceleración con que una persona reduce la velocidad en una caída, con qué velocidad llega un objeto en caída libre al suelo, de que depende la desaceleración que tiene un objeto en el momento de impactar con una parte del cuerpo humano, qué fuerzas generan el daño sobre una persona, existe algún índice que marque la severidad de una lesión de acuerdo a variables como aceleración, velocidad en el momento del impacto o tipo de objeto. También es importante que piensen si estos pequeños problemas se pueden resolver de forma cualitativa o cuantitativa.

En el tercer momento es indispensable señalar los conceptos y principios que creen son útiles para solucionar el problema, es decir movimientos uniformes movimientos acelerados, aceleración, fuerzas, leyes de Newton, entre otros. Es importante que los estudiantes limiten el problema, si bien es posible abordar temas de dinámica y cinemática, también se puede analizar conceptos de trabajo y energía, presión, magnetismo entre otros; entonces es importante que ellos tenga claro que la necesidad es analizar cómo las fuerzas influyen en el movimiento de los cuerpos y las características físicas de los movimientos que se dan en cada problema. Por otra parte, también es indispensable establecer aproximaciones, si bien la física describe lo que sucede en situaciones reales, se debe considerar algunas aproximaciones para que la matemática y los conceptos físicos que se pretenden abordar sean adecuados para estudiantes de grado décimo; por ejemplo, no se tendrá en cuenta el cálculo integral para hallar el índice de severidad de Gadd, simplemente se planteara la expresión matemática como una ecuación o no se tendrá en cuenta la resistencia del aire en la caída de los objetos, el *Súper shot* o la caída de las personas que practica *Parkour*.

Metodología: A partir de esta sesión es fundamental el trabajo en grupos cooperativos, cada estudiante debe cumplir una función. Debe existir un manager que es el encargado de dirigir el trabajo que realiza el grupo, promover la participación de todos los

integrantes y controlar el tiempo en que se debe realizar cada actividad. Otro estudiante debe ser el registrador o inspector que se encarga de tomar nota de todos los eventos del grupo, verificar que todos vayan comprendiendo el trabajo que se realiza y debe asegurarse que todos los integrantes estén de acuerdo del trabajo que van a realizar. Otro estudiante debe ser el escéptico poniendo en tela de juicio todo lo que quieren realizar, debe asegurarse que se exploren todas las posibilidades y sugerir ideas alternativas. Finalmente si el grupo es de cuatro integrantes debe haber un animador o sintetizador que sugiere nuevas ideas, resume las discusiones o conclusiones del grupo y motiva a todos los integrantes a desarrollar las ideas sugeridas para la solución del problema.

Actividad complementaria: Los grupos de trabajo deben profundizar sobre los conceptos necesarios para desarrollar los problemas planteados, entonces deberán ampliar la información consultada y comprender conceptos como velocidad, aceleración, distancia recorrida, fuerzas, movimientos uniformes y movimientos uniformemente acelerados; dependiendo del problema que aborde cada grupo.

3.1.3 Sesión 3: Obtención información

Tiempo estimado: 110 minutos.

Objetivo:

Afianzar los conceptos necesarios para resolver los problemas planteados

Conceptos previos: Fuerza, movimientos, aceleración, velocidad, distancia recorrida y leyes de Newton.

Materiales: Presentación multimedia, textos escolares e información consultada.

Descripción: Después que los estudiantes han consultado la información necesaria para resolver los problemas, es necesario realizar una socialización de los conceptos que han adquirido cada uno de los grupos, para ello cada grupo deberá realizar la exposición de los conceptos que crean necesarios para llegar a una posible solución al problema escogido. Como hay conceptos que son iguales para los diferentes grupos, la idea es que complementen los conceptos unos grupos a otros y así logren un mejor aprendizaje

de los conceptos requeridos, luego se permitirá que cada grupo haga las observaciones y correcciones a las exposiciones de los demás grupos. En esta exposición es necesario que los estudiantes reconozcan las diferentes variables que deben relacionar. Por ejemplo, para reducir la desaceleración en la caída de una persona depende de la distancia requerida para amortiguar la caída, de igual forma que para evitar lesiones en el *Súper shot* la distancia del frenado magnético debe ser considerable o que la velocidad final de un objeto cuando cae libre no depende de la masa del cuerpo si no de la altura de la que fue lanzado.

Metodología: Esta sesión se enmarca en una metodología constructivista donde en lo posible cada estudiante debe estructurar los conceptos que requiere para resolver los problemas. Claro está que si las concepciones que ellos presentan son erróneas y ninguno de los grupos hace las correcciones pertinentes es necesario que el tutor intervenga y exponga los conceptos de una forma adecuada. En la explicación que realiza cada uno de los grupos es indispensable que indiquen en que parte del problema es necesario utilizar estos conceptos o cómo los pretenden utilizar. A partir de las correcciones o ampliaciones conceptuales que hacen los demás grupos se busca generar un aprendizaje colaborativo en todo el curso, permitiendo que unifiquen criterios conceptuales. En este punto los estudiantes deben tener claros los conceptos de fuerza y movimiento necesarios para resolver cada uno de los problemas.

Actividad complementaria: Realizar las correcciones o ampliaciones sobre los conceptos de cinemática y dinámica requeridos para resolver los problemas.

3.1.4 Sesión 4: Planear la solución

Tiempo estimado: 110 minutos.

Objetivos:

- Construir la solución matemática de cada uno de los problemas aplicando los principios físicos de dinámica y cinemática.
- Planear las actividades experimentales necesarias.

Conceptos previos: Movimiento, distancia recorrida, desplazamiento, movimientos acelerados, leyes de Newton, caída libre y fuerzas.

Materiales: Textos escolares e ideas previas sobre los problemas.

Descripción: Esta sesión se divide en dos partes, en la primera los estudiantes deben plantear la solución teórica al problema planteado, entonces deben construir las ecuaciones algebraicas específicas, para ello deben determinar las ecuaciones que pueden ser combinadas para hallar las variables ya establecidas como son la velocidad con que llega al piso un objeto o una persona al caer libremente, la aceleración de colisión, la fuerza ejercida, el tiempo de colisión, el índice de severidad de Gadd, altura y el análisis dinámico de todos los movimientos presentados en el *Súper shot*. También deben indicar el orden de la solución para obtener las variables deseadas y deben verificar que no tengan más incógnitas que el número de ecuaciones suficientes para resolver el problema, en este punto se deben dar cuenta que faltan variables como la distancia de colisión del objeto o de la persona al caer de una determinada altura y también la desaceleración producida en estos movimientos.

A partir de los vacíos encontrados en la primer parte, se debe guiar a los estudiantes a planear actividades experimentales que permitan encontrar las variables que faltan, para la distancia de desaceleración del objeto que cae es necesario inducirlos a hacer por ejemplo una mezcla de gelatina que simula los tejidos blandos del cuerpo y con la puntilla el objeto que puede generar una lesión al ser lanzado de diferentes alturas, para la distancia de desaceleración en la caída de una persona se sugiere un experimento cualitativo donde se observara los cambios en la aceleración con un acelerómetro de masa y resorte, y se darán algunos necesarios que se muestran en la solución teórica en 2.3.2. Para la construcción del acelerómetro de masa y resorte se pide a los estudiantes que revisen el documento que se encuentra en el siguiente link http://www.scienceinschool.org/repository/docs/issue20_amusement_worksheet_spanish.pdf. Con el acelerómetro se debe plantear realizar un salto de poca altura variando la flexión de las piernas en el momento del impacto como lo hacen los *Traceur* en el video mostrado en la primer sesión, también se hace necesario tener la oportunidad de visitar el parque salitre mágico para observar que sucede con el acelerómetro cuando una persona lo lleva en el *Súper shot*.

Metodología: Los estudiantes trabajaran en grupos cooperativos como fueron organizados desde la primera sesión, cada uno en la problemática planteada inicialmente para llegar a la solución teórica. Para la planeación experimental se realizará grupalmente para unificar las ideas y todos los grupos deberán estar enterados de los

experimentos que se van a realizar en cada uno de los problemas, para esta parte es necesario que el tutor guíe el trabajo e induzca a los estudiantes a realizar las experiencias planeadas en este trabajo.

Actividad complementaria: Como surge la necesidad de construir un acelerómetro de masa y resorte, los estudiantes requieren conocer la ley de Hooke y necesitan investigar las diferentes formas que se puede calcular la constante elástica de los resortes que van a utilizar, además requieren planear las experiencias necesarias para obtener esta constante elástica y contrastar los resultados obtenidos con la constante elástica hallada teóricamente partiendo de la solución dinámica del acelerómetro. Entonces los estudiantes deberán realizar la solución dinámica del acelerómetro e investigar las diferentes formas que existen para calcular la constante elástica.

3.1.5 Sesión 5: Ejecución experimental

Tiempo estimado: 220 minutos

Objetivo:

- Modelar la caída de objetos sobre una persona lanzando puntillas sobre una mezcla de agua y gelatina.
- Construir el acelerómetro de masa y resorte.
- Calcular la constante elástica de los resortes a utilizar.

Conceptos previos: Solución teórica de los problemas.

Materiales: Guías de laboratorio (ver anexos B, C y D), resortes, juego de masas, acetato, tapones de tubo, cinta de colores, Mezcla de agua con diferentes concentraciones de gelatina, puntillas, cronómetro, regla, metro, soporte y plumón.

Descripción: Esta sesión es completamente experimental y el trabajo se divide, de acuerdo al problema que estén abordando cada uno de los grupos. Para los grupos que están trabajando el problema sobre accidentes en el colegio realizarán el experimento de la caída de objetos con ayuda de la guía de laboratorio (ver anexo B); los grupos que trabajen el problema de la Torre *Súper shot* y *Parkour* requieren calcular la constante elástica de los muelles (ver anexo C) y construir el acelerómetro de masa y resorte (ver anexo D). Para ello los estudiantes traerán algunos de los materiales y los otros se

prestaran en el laboratorio, los espacios que se usaran es el patio del colegio y el laboratorio de física. Se iniciara con una lectura de la guía y una socialización del trabajo que deben realizar para aclarar dudas en la ejecución, posteriormente cada grupo se encargara de realizar las mediciones respectivas y de construir el acelerómetro para los grupos que lo necesiten.

Metodología: La sesión parte del trabajo en grupos cooperativos, pero en este caso el tutor debe guiar y liderar los procedimientos a realizar con el fin de que las medidas realizadas y los artefactos construidos sean adecuados para resolver los problemas. Es importante puntualizar en cómo tomar las medidas y que cada grupo tenga claro el objetivo de cada práctica. Es fundamental que los estudiantes empiecen a ver la relación de la solución teórica con los experimentos que están realizando y que tengan claro que es una parte fundamental para argumentar las conclusiones finales a las que lleguen.

Actividad complementaria: Esta sesión se realizará en dos clases, luego en la segunda clase se terminará de tomar las medidas teniendo en cuenta la experiencia de la primera clase, si es posible se tomaran medidas intentando minimizar los errores cometidos.

3.1.6 Sesión 6: Análisis experimental

Tiempo estimado: 220 minutos.

Objetivos: Realizar el análisis de resultados obtenidos en la sesión anterior.

Materiales: Guías de laboratorio (Ver anexos B, C y D), computador, acelerómetro.

Conocimientos previos: Toma de datos, solución teórica de los problemas.

Descripción: Esta sesión se divide en dos partes. La primera parte cada grupo realizará el análisis respectivo de acuerdo al análisis de resultados que se pide en cada una de las guías de laboratorio. En el experimento de la caída de objetos es fundamental que evidencien que entre mayor concentración de gelatina hay, se genera una mayor profundidad del daño producido por la puntilla, también que el daño depende de la altura desde donde cae el objeto y finalmente que entre mayor masa tiene el objeto mayor fuerza hay en el momento del impacto, aunque esta última conclusión sale de la solución teórica de acuerdo a la segunda ley de Newton.

En el experimento donde se hallan las constantes elásticas, deben encontrar que la pendiente de la regresión lineal de la fuerza en función de la elongación es la constante elástica y el comportamiento observado obedece a la ley de Hooke. También deben llegar a concluir que cualquier método utilizado es válido para hallar la constante elástica y los resultados deben ser similares a los encontrados en la solución teórica, en el caso que no sea así deben buscar una explicación al comportamiento observado. En esta parte los estudiantes deben confrontar si la solución teórica que hicieron para calcular la constante elástica de los resortes que se utilizan en el acelerómetro es correcta al compararla con los valores de la constante elástica obtenidos experimentalmente.

Finalmente con la construcción del acelerómetro deben encontrar el uso adecuado para aplicarlo en los problemas de la torre *Súper shot* y *Parkour*. Entonces en la torre *Súper shot* deben evidenciar que permite observar que en la subida no cambia la marca de aceleración luego es un movimiento uniforme, en la caída libre se tiene una sensación de ingravidez y en el momento del frenado magnético se tienen una aceleración negativa. Esta predicción que hacen los estudiantes se puede lograr intentando mover el acelerómetro hacia arriba o hacia abajo con velocidad variable o constante para evidenciar lo que sucedería en la atracción y si es posible realizar la visita al parque para corroborar los resultados obtenidos. En el caso del problema de *Parkour* deben realizar saltos de alturas pequeñas variando la flexión de las piernas para evidenciar los cambios en la aceleración que se dan en el momento del impacto así llegar a la conclusión que entre mayor sea la distancia para reducir la velocidad menor va la aceleración y por consiguiente menor la fuerza que debe soportar el cuerpo.

En la segunda parte de la sesión los grupos comunicaran los resultados obtenidos a todos sus compañeros. En este caso el manager comunicara los resultados si es necesario proyectando las tablas o gráficas a sus compañeros y mostrando los hallazgos y conclusiones hechas. Cada grupo que tenga el mismo problema debe complementar o refutar los resultados de sus compañeros en el caso que hayan encontrado resultados distintos.

Metodología: El trabajo se realizará en grupos cooperativos, cada grupo debe responder las preguntas establecidas en las guías de laboratorio (ver anexos B, C y D). Posteriormente comunicaran los resultados científicos utilizando un lenguaje adecuado. Cada grupo debe participar activamente a medida que exponen los resultados aportando

o refutando los resultados de los grupos que realizaron la misma actividad experimental. Las actividades experimentales tienen como fundamento, buscar relaciones entre las variables establecidas en la planeación de la solución para obtener argumentos sólidos para comunicar finalmente los resultados al problema planteado inicialmente.

Actividad complementaria: Se pedirá a cada grupo que realice un informe de los experimentos realizados que incluya objetivos, materiales, procedimiento, marco teórico, toma de datos, análisis de resultados y conclusiones.

3.1.7 Sesión 7: Comunicar la solución del problema

Tiempo estimado: 110 minutos.

Objetivos:

- Condensar todos los conceptos desarrollados para llegar a la solución del problema.
- Mostrar cómo los conceptos físicos aprendidos son aplicables a los problemas resueltos.
- Utilizar lenguaje científico para la comunicación de resultados.
- Mostrar la relación entre conceptos de cinemática con los conceptos de dinámica.

Conceptos previos: Distancia recorrida, desplazamiento, velocidad, aceleración, movimiento uniforme, movimiento uniformemente acelerado, caída libre, fuerza, leyes de Newton y ley de Hooke.

Materiales: Video beam y computador.

Descripción: Con esta sesión finaliza el trabajo mediante la metodología de aprendizaje basado en problemas por medio de grupos cooperativos, luego cada uno de los grupos expondrá los resultados obtenidos durante el proceso de solución de los problemas, utilizando un lenguaje científico y argumentando sus resultados mediante actividades experimentales y solución teórica del problema que desarrollaron. Para ello tendrán que preparar con antelación una presentación multimedia en donde muestre los conceptos de cinemática y dinámica utilizados y las conclusiones respecto al trabajo realizado. En esta sesión cada grupo tendrá un tiempo límite de 15 minutos, por lo que se sugiere a cada

uno de los grupos ser lo más concretos y específicos en la descripción del trabajo realizado.

Metodología: La sesión se concentrará en la exposición de los resultados obtenidos por cada uno de los grupos, como se nombró anteriormente cada grupo tendrá un tiempo límite de 15 minutos, es obligatorio usar una presentación multimedia previamente revisada por el tutor y ningún grupo tendrá la opción de interrumpir la exposición de otro, al final de cada exposición se hará una serie de preguntas por el tutor y los demás grupos y se hará las aclaraciones y correcciones respectivas para afianzar los conceptos aprendidos por lo estudiantes.

Actividad complementaria: Se pedirá a cada uno de los grupos que presente un informe detallado del trabajo realizado durante las 7 sesiones, mostrando una marco conceptual, solución teórica, resultados experimentales, análisis de datos experimentales y conclusiones o hallazgos extraídos de la solución del problema.

3.2 Experimentos realizados

En la propuesta didáctica planteada para los estudiantes del IED Tibabuyes Universal, se pretende realizar algunas prácticas que permitan comprender mejor los conceptos de cinemática y dinámica. Estas prácticas son cualitativas y cuantitativas donde los estudiantes tendrán la oportunidad de diseñar experimentos, realizar medidas, registrar observaciones en tablas y gráficas, encontrar relaciones entre variables, construir implementos de medidas cualitativos, establecer relaciones casuales entre los datos recopilados y obtener conclusiones de los experimentos realizados como se estipula en los estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales (2004). A continuación se presentarán la construcción del acelerómetro y la descripción y análisis de los experimentos realizados.

3.2.1 Construcción del acelerómetro de masa y resorte

Para la construcción de los acelerómetros se usaron los siguientes materiales:

- Muelles elásticos
- Masa de 20 y 100 gramos
- Dos pliegos de acetato

- Tapones de tubo de 2,2 y 2,54 cm
- Cinta de color blanco y rojo
- Cáncamos
- Cáñamo
- Pegante instantáneo

Inicialmente se abre un orificio en el centro a uno de los tapones de tubo y se introduce el cáncamo de forma que la abrazadera quede en la parte interna del tapón.



Figura 3.1. Abertura del orificio al tapón de tubo.

Posteriormente, se une los resortes al cáncamo y la masa como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.2. Conexión de los resortes a la masa y el tapón del tubo con el cáncamo.

Luego, Se hace un rollo con el pliego de acetato de tal forma que quede como un tubo y se introduce en el tapón de tubo con la conexión hecha anteriormente. Se liga el resorte libre al cáñamo para hacer la conexión con el tapón de tubo que va en el otro extremo del acelerómetro como se muestra en las siguientes figuras.



Figura 3.3. Unión del rollo de acetato con el otro tapón del tubo.

Ahora se coloca pegante instantáneo en la conexión de los tapones de tubo con el acetato para garantizar que no se desarme el acelerómetro en el momento que esté en movimiento.



Figura 3.4. Acelerómetro asegurado de sus extremos con pegante instantáneo.

Finalmente se marca el punto de equilibrio de la masa con cinta blanca y la aceleración en gravedades con cinta roja como se muestra en la figura 2.3.

3.2.2 Experimento 1 para el problema de caída de objetos desde diferentes alturas de la institución educativa.

Inicialmente se preparó un sobre de gelatina sin sabor de 7,5 g con 237 ml de agua. Se dejó congelar por dos días y posteriormente se sacó del recipiente colocándolo sobre agua caliente.



Figura 3.5. Preparación de gelatina que simula los tejidos blandos del cuerpo humano.

Posteriormente se lanzaron objetos desde una altura de 3,5 m, menor que la altura desde donde lanzan los objetos en el colegio. Primero se lanzaron lápices pero al ser livianos el viento los movía y no lograron caer con la punta sobre la gelatina. Posteriormente se lanzaron monedas de 100 pesos pero no atravesaban la gelatina dejaban algunas marcas y rebotaban; en los intentos realizados la moneda cayó por la cara y no con sus bordes. Algunas de las marcas hechas por estos objetos se pueden ver en la imagen. En algunos golpes alcanzaba a levantar 1 o 2 mm la gelatina.



Figura 3.6. Marcas hechas por las monedas sobre la gelatina.

Finalmente se lanzó una puntilla de 10 cm de longitud, con una mayor masa y que caía con su punta fácilmente.



Figura 3.7. Puntilla que se lanzó sobre la gelatina.

Para este objeto se evidenciaba un daño mayor sobre la gelatina, aunque no quedaba clavado, lograba generar un daño considerable al caer de punta sobre ella.

Posteriormente lo que se hizo fue separa la parte de la gelatina dañada por la puntilla y medir la profundidad del daño generado por la puntilla como se muestra en las siguientes imágenes.

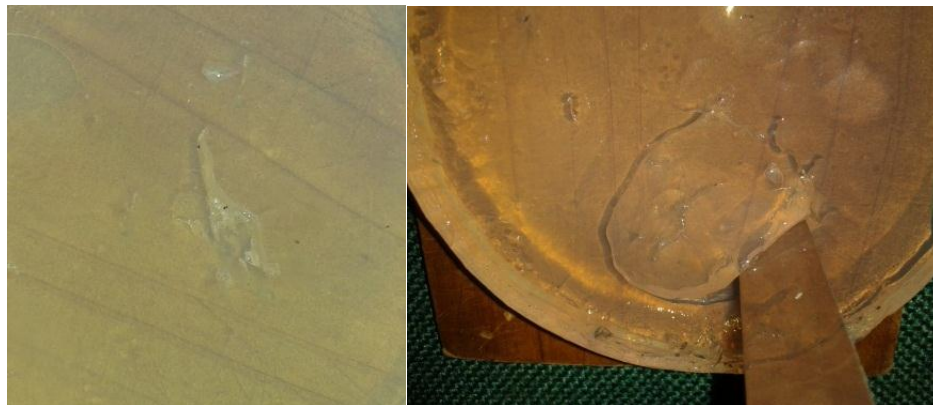




Figura 3.8. Imágenes del daño generado por la puntilla al caer de punta sobre la gelatina.

Como se puede observar en la última imagen la penetración que logro la puntilla sobre la gelatina fue de 7 mm . Con esta información que logren extraer los estudiantes, podrán calcular la desaceleración y el tiempo de choque del objeto con el objeto que simula los tejidos blandos del cuerpo humano.

Ahora probando que el experimento funciona al lanzar puntillas, se realizó una serie de mediciones con mayor rigurosidad. En esta ocasión se tuvieron en cuenta 3 concentraciones de gelatina diferente para una misma cantidad de agua, y se hicieron pruebas de lanzamientos en el colegio IED Tibabuyes Universal en donde se pretende realizar la práctica con los estudiantes. Para este caso se lanzaron objetos desde el segundo y tercer piso del colegio h_1 y h_2 respectivamente, se midió la penetración de los objetos sobre la gelatina y se utilizaron dos puntillas de diferente tamaño. Los resultados obtenidos se encuentran en la *Tabla 3.1*.

agua (ml)	gelatina (g)	Puntilla 7,6 cm		Puntilla 12,6 cm	
		h1 (mm)	h2 (mm)	h1 (mm)	h2
337	15	5	6	NR (no realizado)	Atravesó
337	22,5	6	7	4,5	Atravesó
337	30	9	18	Atravesó	Atravesó

Tabla 3.1. Datos medidos para el lanzamiento de dos puntillas de diferente masa.

En la tabla se muestra que el experimento fue realizado incrementando $7,5\text{ g}$ de gelatina para cada mezcla. Se puede observar que la puntilla de mayor tamaño logró en casi todas las ocasiones atravesar la gelatina por completo como se muestra en la siguiente imagen.

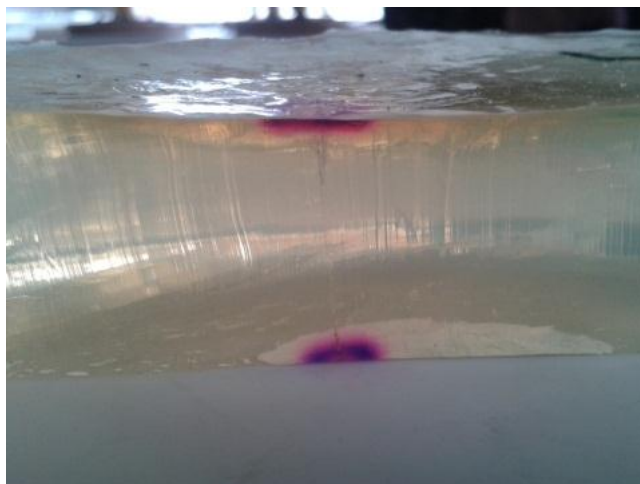


Figura 3.9. Mezcla de gelatina de 22,5 g atravesada completamente al lanzar la puntilla de 12,6 cm desde el tercer piso.

Se puede observar que para la puntilla de 7,6 cm, se genera un daño sobre la mezcla muy similar para las dos primeras concentraciones de gelatina y la diferencia entre el lanzamiento de las dos alturas es mínimo, mientras que la profundidad se incrementa notoriamente para la mezcla de mayor concentración de gelatina que se hace más rígida. Esto obedece a que la energía del objeto en caída libre cuando cae se disipa en mayor proporción en la gelatina menos rígida y por eso genera un menor daño, mientras que para la mezcla más rígida la energía no se disipa de igual forma y por eso se evidencia una gran diferencia en la profundidad del daño generado por la puntilla. Este fenómeno se podría observar experimentalmente realizando un video de la caída de la puntilla y observar que distancia rebota la puntilla después de chocar con la gelatina. Por medio de un programa como *Tracker*⁹ se podría medir la altura que alcanza la puntilla después del choque y así observar la diferencia de energía antes y después del choque para conocer la cantidad energía que se disipa.

Para realizar la medición de la altura que alcanza la puntilla después del choque con la gelatina en *Tracker*, primero se debe realizar el video de la caída del objeto, es importante que en el video se muestre una escala de medida conocida, la escala se puede dibujar en una cartulina y colocar en la parte de atrás del experimento. Posteriormente se abre el archivo del video en el programa *tracker* como se muestra en la figura.

⁹Este programa es de adquisición gratuita y se puede descargar en el siguiente enlace:
<https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>

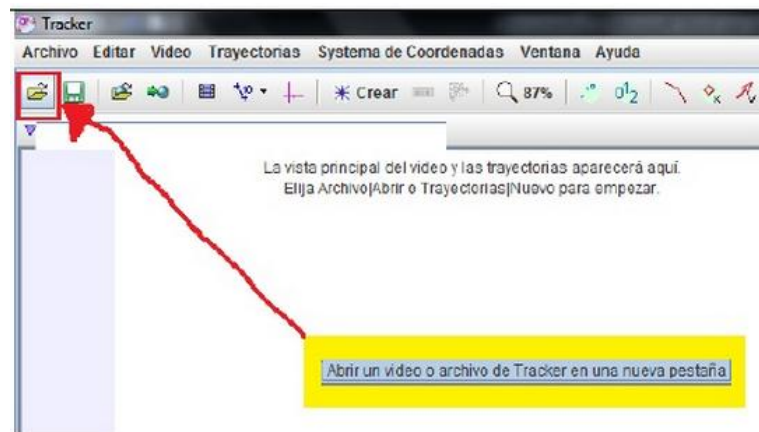


Figura 3.10. Lugar donde se carga un video en el programa Tracker.

Luego, se fija desde el programa un sistema de referencia tomando como coordenada (0,0) el lugar a donde la puntilla choca con la gelatina.

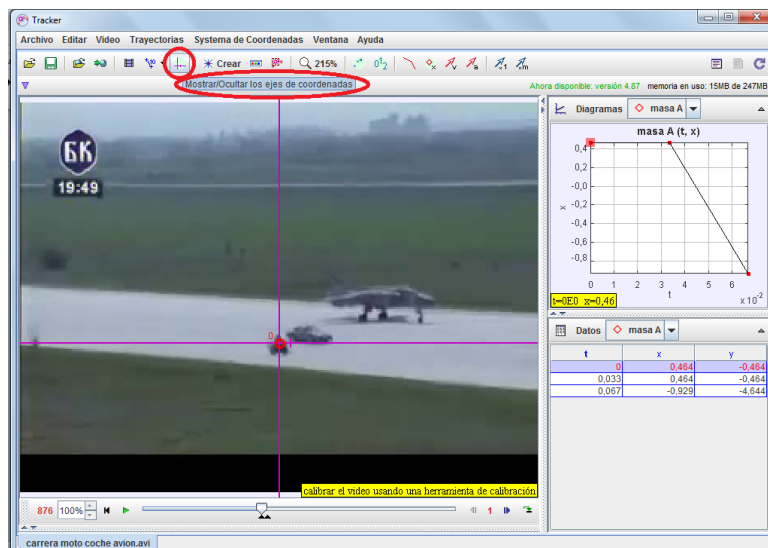


Figura 3.11. Lugar donde se fija el sistema coordenado en el programa tracker.

Posteriormente se fija el objeto para identificar el movimiento en estudio en trayectorias, nuevo, masa puntual. Es importante que el objeto tenga un buen contraste para que el programa lo identifique. Para este caso, la puntilla debe ser pintada en su parte central con un color llamativo para mejorar su contraste en el movimiento que realiza.

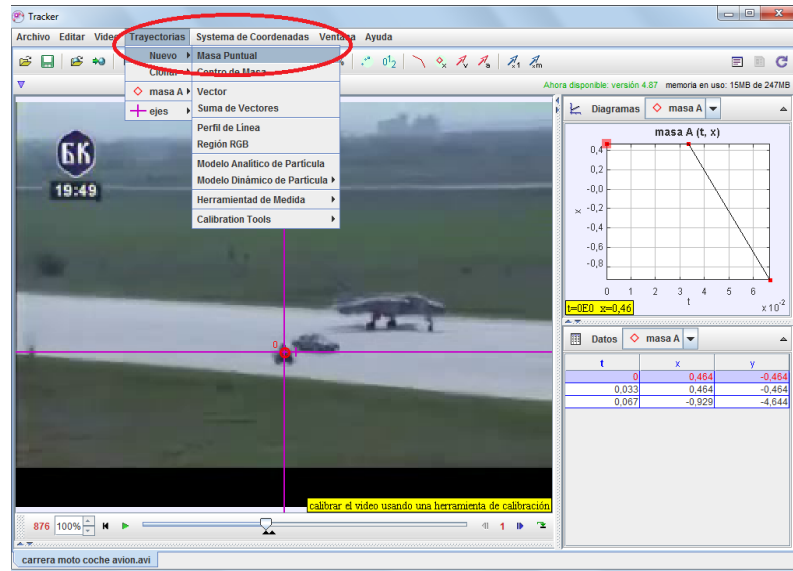
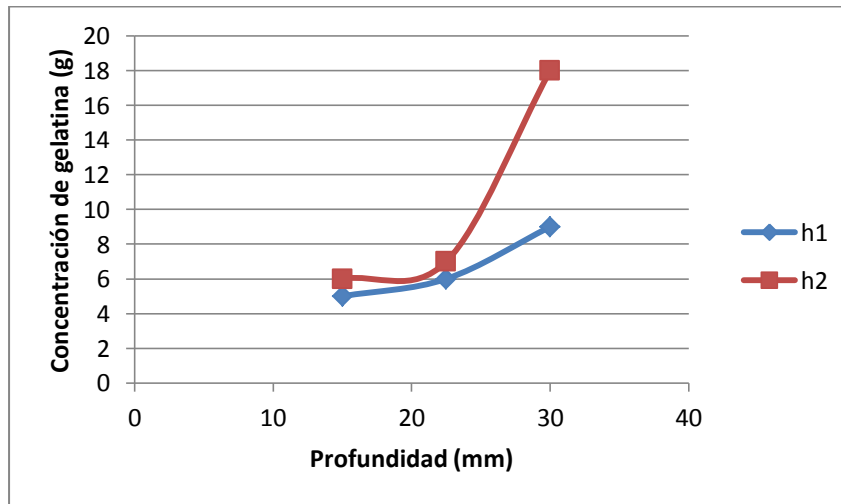


Figura 3.12. Lugar donde se fija el objeto en el programa Tracker.

Finalmente, se muestra la trayectoria que sigue el objeto y se coloca en la función que muestra la posición del objeto en el punto más alto que logra la puntilla después del choque con la gelatina, así es posible encontrar la medida de la altura alcanzada.

En la siguiente gráfica se muestra la profundidad del daño generado por una puntilla en la mezcla con igual cantidad de agua pero diferente concentración de gelatina. La experiencia se hizo para dos alturas diferentes h_1 es cuando las puntillas se lanzaron del segundo piso del colegio y h_2 cuando las puntillas se lanzaron desde el tercer piso.



Gráfica 3.1. Daño generado por la puntilla a la mezcla de agua y gelatina cuando es lanzada de dos alturas diferentes.

Como se puede observar el comportamiento es similar para el daño generado desde el segundo o tercer piso aunque la profundidad generada cuando es lanzada desde el tercer piso es mayor. Se puede corroborar que para mayor concentración de gelatina en la mezcla se logra un mayor daño aunque quizá este fenómeno tenga un límite en donde la dureza de la mezcla no permita el ingreso de la puntilla que cae libremente, pero esta situación no se tendrá en cuenta en la situación planteada, aunque se puede dejar la duda a los estudiantes que deseen profundizar más en el tema.

3.2.3 Experimento 2 cálculos de la constante elástica de los resortes utilizados para realizar el acelerómetro de masa y resorte

Este experimento se puede usar como una actividad previa a la construcción del acelerómetro de masa y resorte para afianzar conceptos relacionados con fuerza elástica, movimientos periódicos y las leyes de Newton, además permite comprender mejor el funcionamiento que tiene el acelerómetro.

- **Método 1. Medición de la elongación del resorte.**

Para este experimento se tomó cada uno de los resortes y se colgaron verticalmente de un soporte como se muestra en la imagen.



Figura 3.13. Montaje experimental para calcular la constante elástica de los resortes usados en los acelerómetros.

En esta posición inicial del resorte se marca la posición inicial, desde donde se va a medir las elongaciones de cada resorte al colocar diferentes masas.



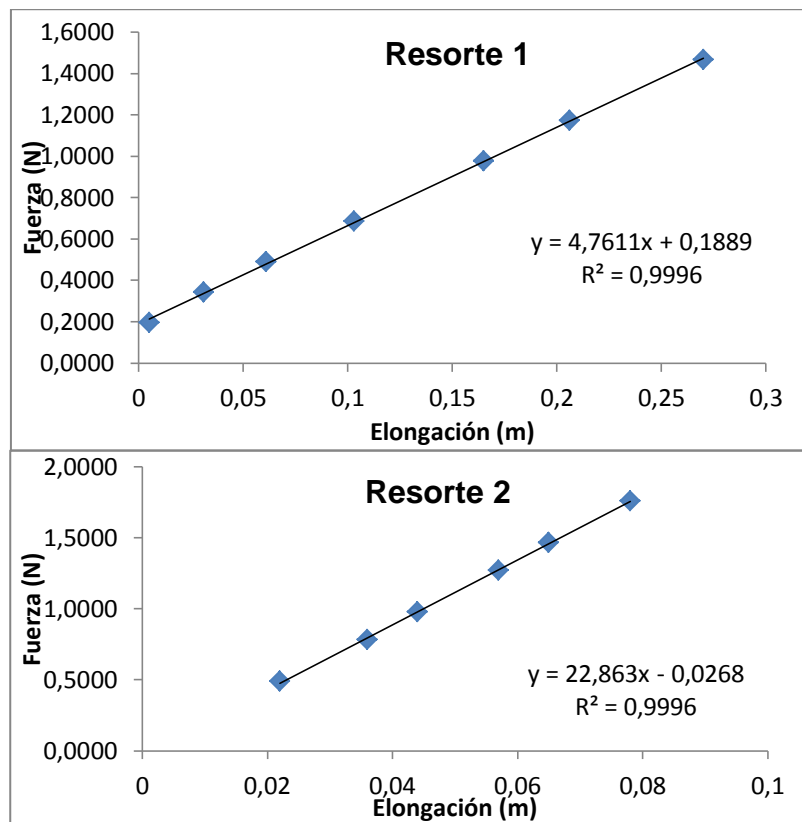
Figura 3.14. Medición de la elongación del resorte al colocar masas de diferente valor.

En la siguiente tabla, se muestra los resultados obtenidos para diferentes masas colocadas sobre los resortes.

Resorte 1			Resorte 2		
m (kg)	x(m)	mg (N)	m (kg)	x(m)	mg (N)
0,02	0,005	0,1955	0,05	0,022	0,4887
0,035	0,031	0,3421	0,08	0,036	0,7819
0,05	0,061	0,4887	0,1	0,044	0,9774
0,07	0,103	0,6842	0,13	0,057	1,2706
0,1	0,165	0,9774	0,15	0,065	1,4661
0,12	0,206	1,1729	0,18	0,078	1,7593
0,15	0,27	1,4661			

Tabla 3.2. Elongación de los resortes para diferentes masas.

A partir de los datos obtenidos se construyeron las gráficas de fuerza contra elongación para obtener la constante elástica mediante la regresión lineal.



Gráfica 3.2. Fuerza elástica en función de la elongación de los resortes utilizados en la construcción de los dos acelerómetros.

Como se puede observar existe una correlación R^2 alta entre los datos medidos experimentalmente de los resortes utilizados en los acelerómetros, pero para el resorte 1 se tiene el punto de corte en la ordenada muy alto, lo cual debería ser casi cero porque cuando no se tiene ninguna masa sobre el resorte la elongación debe ser cero, ya que este fue el punto de referencia para tomar las medidas experimentales.

En la siguiente tabla se muestra el error típico de la regresión lineal y el error que tiene la pendiente de la recta que hace referencia a la constante elástica calculada para cada uno de los resortes.

	Error Típico	Error pendiente
Resorte 1	0,01026906	0,04307403
Resorte 2	0,01064264	0,23373013

Tabla 3.3. Error típico y error de la pendiente en la regresión lineal hecha para calcular la constante del resorte

Se puede evidenciar que el error típico de la regresión lineal para la fuerza en función de la elongación para cada uno de los resortes es cercano al 1%. El error de la constante elástica para el primer resorte es de 4,3 %, siendo relativamente bajo a pesar que al colocar el resorte verticalmente generaba una pequeña elongación indicando un punto de corte en el eje y diferente a cero.

Para el segundo resorte se alcanza un error mayor cercano al 23,4 %. A pesar que al comparar los cálculos de las constantes elásticas por los diferentes métodos utilizados se obtienen valores muy cercanos. Este incremento en el error se puede atribuir a que se tomaron menos datos de la elongación del resorte.

- **Método 2. Medición del tiempo de oscilación del sistema masa-resorte.**

Otra forma de hallar la constante del resorte es midiendo el tiempo que tarda el sistema masa-resorte en realizar 10 oscilaciones y así obtener el valor de la constante elástica mediante la siguiente expresión:

$$k = \frac{4\pi^2 \cdot m}{T^2} \quad (3.1)$$

Donde m es la masa que se cuelga del resorte y T es el periodo de oscilación de la masa. Para realizar esta medición se colocó la masa ligada al resorte verticalmente colgando de un soporte, posteriormente se elonga 4 cm para dar inicio al movimiento oscilatorio de la masa.



Figura 3.15. Diseño experimental para medir el tiempo de 10 oscilaciones.

Se midió el tiempo para diez oscilaciones y a partir de este dato se logra calcular el periodo de movimiento de la masa. En la siguiente tabla se encuentran los datos obtenidos para los dos resortes utilizados en la construcción de los acelerómetros. Para el primer resorte se utilizó una masa de 50 g mientras que para el segundo resorte se usó una masa de 150 g.

Resorte 1		Resorte 2	
t (s)	T (s)	t (s)	T (s)
6,746	0,6746	5,141	0,5141
6,488	0,6488	5,04	0,504
6,562	0,6562	5,105	0,5105
6,604	0,6604	5,121	0,5121
6,485	0,6485	5,139	0,5139
T promedio	0,6580	T promedio	0,5109

Tabla 3.4. Medición del tiempo para diez oscilaciones y cálculo del periodo.

Con el tiempo promedio se calculó la constante elástica de cada resorte, se halló la desviación estándar de los datos medidos y el rango de confiabilidad.

	K(kg/s²)	Desviación típica	Rango de confiabilidad
Resorte 1	4,5632	0,011	4,4182 - 4,7156
Resorte 2	22,6853	0,004	22,3224 - 23,0572

Tabla 3.5. Cálculo de la constante elástica por medio del periodo de oscilación.

Como se puede observar los datos obtenidos para la constante elástica, son muy cercanos a los obtenidos en el primer método, aunque el valor hallado para la constante elástica del resorte 1 en el anterior método, no se encuentra en el rango de confiabilidad estimado a partir de la desviación típica. Para el caso del resorte 2, se encuentra que las dos estimaciones realizadas se encuentran en el rango de confiabilidad.

Finalmente se puede hallar la constante elástica de cada uno de los resortes utilizados realizando el análisis dinámico del acelerómetro donde se obtiene la siguiente expresión:

$$k = \frac{mg}{x_1 - x_2} \quad (3.2)$$

Para este caso es necesario medir la longitud de cada resorte elongado cuando el acelerómetro se coloca verticalmente como se muestra en la figura.



Figura 3.16. Medición de la elongación del resorte 1.

Los datos obtenidos de las longitudes de los resortes elongados y las constantes halladas desde el análisis dinámico se muestran en la siguiente tabla.

	m (g)	L_0 (cm)	x_1 (cm)	x_2 (cm)	k (N/m)
Resorte 1	20	10	38,6	33,9	4,16
Resorte 2	100	20	38,7	34,4	22,73

Tabla 3.6. Datos para calcular la constante elástica a partir del análisis dinámico.

En este caso también se evidencia que el resultado de la constante elástica para el resorte 2 se encuentra en el rango calculado a partir de la desviación típica hallada en el método 2 y la constante elástica para el resorte 1 se encuentra fuera de este rango aunque su valor se aproxima mucho a las mediciones hechas en los dos métodos.

3.2.4 Experimento 3. Análisis cualitativo del cambio de velocidad de una persona cuando salta de una altura determinada.

Para esta situación como se pone en riesgo la integridad física de los estudiantes se sugiere hacer un análisis cualitativo del cambio de velocidad que se da en el momento del impacto, para ello se utiliza el acelerómetro de masa y resorte. La idea es saltar

desde una altura no mayor a un metro con el acelerómetro, sugiriendo a los estudiantes que caigan rígidamente y posteriormente que lo hagan amortiguando la caída, flexionando cada vez más las piernas hasta lograr reducir la desaceleración generada en el impacto contra el suelo.



Figura 3.17. Prueba experimental para observar el cambio de aceleración en la caída libre de una persona.

En este caso se evidencia que el acelerómetro tiene un mayor cambio cuando el choque de la persona contra el suelo se da en un tiempo menor, es decir cuando el estudiante cae rígidamente. Por otra parte a medida que empieza a amortiguar el choque contra el suelo flexionando las piernas, la desaceleración conseguida es menor y de acuerdo a la segunda ley de Newton, la fuerza que se genera en el impacto va a ser menor.

3.3 Análisis de los resultados teóricos y experimentales

Después de realizar los experimentos pertinentes y la solución teórica de los problemas planteados para la propuesta, es necesario indicar los conceptos que podrían aprender los estudiantes.

3.3.1 Análisis problema accidentes del colegio

Se evidencia que es posible mostrar como la aceleración se puede relacionar con la fuerza, en este caso al realizar la experiencia con la mezcla de gelatina, se puede calcular la desaceleración de la puntilla, luego esta desaceleración también se puede

relacionar con la profundidad de penetración generada, es decir la distancia recorrida. En este punto se pueden unificar conceptos de dinámica y cinemática porque si bien es posible calcular la desaceleración con la velocidad que impacta la puntilla a la mezcla de gelatina y la distancia que recorre hasta detenerse, también es posible con esta desaceleración calcular la fuerza ejercida en el momento del impacto, luego es posible abordar el concepto de aceleración desde el punto de vista dinámico y cinemático.

Por otra parte, se puede: identificar las características de un movimiento acelerado, en este caso la caída libre; evidenciar como cambia la posición y la velocidad respecto al tiempo; construir gráficas relacionando estas variables y observando su comportamiento. También es factible analizar cómo ocurre el cambio de movimiento en el caso en el cual la fuerza que lo genera, la fuerza de gravedad, va en la misma dirección del movimiento del objeto, de esta forma se puede entender el incremento de velocidad cuando el objeto cae, lo que permite extrapolar el razonamiento para justificar porque cuando se lanza un objeto hacia arriba disminuye su velocidad, en este caso se debe a que la fuerza actúa en dirección opuesta al movimiento del objeto.

También es posible profundizar en otro tipo de conceptos como el de energía. En este experimento se evidencia que la puntilla genera el daño sobre la gelatina pero no queda clavada en ella si no que rebota, se observa que para mezclas de gelatina más rígidas se genera un daño mayor, algo que inicialmente no se esperaba, pero se debe presumir que existe un límite en donde la mezcla se haga lo suficientemente dura para que la puntilla no genere ningún daño. Para esta situación se ha contemplado en la solución teórica, el caso en el que el choque es parcialmente elástico, luego por medio de software especializado, es posible calcular la velocidad de la puntilla después del choque y así encontrar el coeficiente de restitución para la mezcla y analizar lo que sucede con la energía que lleva la puntilla, ya que el peso de la misma genera un trabajo sobre ella para que se mueva hacia abajo, Convirtiendo la energía potencial gravitacional en energía cinética, y en el momento del choque, parte de la energía se disipa en la mezcla pero la fuerza elástica genera un movimiento hacia arriba de la puntilla aunque no alcanza nunca la misma altura de la que fue lanzada.

3.3.2 Análisis problema *Parkour*

En este problema se puede afianzar conceptos relacionados con la caída libre y se puede ampliar a analizar los efectos dinámicos que tiene una caída libre sobre una persona con ayuda de textos especializados de física del cuerpo humano donde es posible encontrar un significado a los conceptos físicos aprendidos y utilizarlos en situaciones reales como puede ser una caída. A partir del problema entonces se puede analizar lo riesgoso que puede ser saltar la reja del colegio para evadir las clases, así el estudiante encuentra una relación con su contexto y es posible generar un aprendizaje significativo.

Para este problema se pretende que el estudiante se dé cuenta que entre mayor sea la distancia de impacto de la persona en el momento de la caída genera un menor cambio de velocidad por unidad de tiempo, para ellos se hace un experimento cualitativo con el acelerómetro de masa y resorte, saltando desde una altura que no ponga en riesgo la integridad del estudiante, de modo que evidencie como la aceleración es mayor cuando el impacto se da con las piernas rígidas y cuando se flexionan las piernas, luego al igual que en el problema de la caída de la moneda se puede relacionar conceptos de cinemática y dinámica gracias al cambio de velocidad que sufre un cuerpo. En el impacto también se puede analizar a partir de las fuerzas que actúan porque puede ser riesgoso una caída desde una gran altura, luego se puede plantear a partir de la ley de acción y reacción que la fuerza que hace la persona al chocar contra el suelo es equivalente y en dirección opuesta a la fuerza que hace el piso sobre la persona y precisamente esta fuerza es la que podría generar una lesión grave sobre el *Traceur*.

Para este problema es necesario la construcción del acelerómetro de masa y resorte, en el proceso de construcción es necesario analizar la acción de fuerzas de restitución y los estudiantes deben conocer y comprender la ley de Hooke y evidenciar que la fuerza generada en un muelle elástico es proporcional a la elongación producida sobre él. Para calcular la constante elástica de los muelles utilizados para la construcción del acelerómetro, es necesario hacer el análisis dinámico de las fuerzas que actúan sobre la masa utilizada para su construcción y realizar la medición de la elongación producida por cada resorte cuando el acelerómetro se encuentra en posición vertical. Al calcular la constante elástica por medio de la regresión lineal de la gráfica de fuerza en función de la elongación, se puede corroborar experimentalmente que la ley de Hooke es válida. Al

calcular la constante elástica por medio del periodo de oscilación se puede afianzar conceptos de movimientos periódicos y movimiento armónicos; cuáles son sus características e identificar conceptos como periodo, frecuencia y amplitud.

Mediante los experimentos para calcular la constante elástica de los muelles elásticos utilizados, se afianzan estándares que aproximan al estudiante a los conocimientos científicos establecidos en los estándares básicos de competencias en ciencias naturales propuestos por el Ministerio de Educación Nacional (MEN 2004). Estos estándares son: “Identifico variables que influyen en los resultados de un experimento”, “propongo modelos para predecir los resultados de mis experimentos y simulaciones”, “Realizo mediciones con instrumentos y equipos adecuados”, “Utilizo las matemáticas para modelar, analizar y presentar datos y modelos en forma de ecuaciones funciones y conversiones” y “Saco conclusiones de los experimentos que realizo, aunque no obtenga los resultados esperados”

Finalmente, fuera de los conceptos de cinemática y dinámica es posible calcular la presión que actúa sobre la planta del pie de acuerdo a la fuerza generada en el impacto y midiendo el área de los zapatos de la persona que salta.

3.3.3 Análisis problema “*Súper shot*”

Con este problema se puede inicialmente ver la características de diferentes movimientos como es el movimiento rectilíneo uniforme cuando va subiendo, caída libre cuando cae y movimiento acelerado cuando empieza a frenar y reduce su velocidad hasta detenerse. Se puede analizar a fondo qué características tiene cada uno de estos movimientos y diferenciar las variables de las cuales depende cada uno de estos movimientos.

A partir de la solución teórica se puede desarrollar los conceptos relacionados con las tres leyes de Newton para encontrar una solución. En el momento de la subida la sumatoria de fuerzas es igual a cero como se sugiere en la ley de la inercia cuando se trata de un movimiento rectilíneo uniforme, cuando cae la sumatoria de fuerzas es igual a la masa por la aceleración como se indica en la segunda ley de Newton y finalmente se puede analizar cualitativamente el hecho que requiera determinada distancia para frenar completamente el vagón ya que puede causar perjuicios a la salud de los ocupantes, esto se debe a que al frenar la silla realiza una fuerza sobre el ocupante hacia arriba

generando una fuerza G mayor sobre la persona si ese cambio se hace en una menor distancia recorrida por el vagón.

Por medio del acelerómetro se puede analizar más a fondo las leyes de Newton, porque cuando la atracción va subiendo ellos verán que el acelerómetro marca $1G$, lo que indica que a pesar que existen las fuerzas como el peso y la normal no se genera un cambio en la velocidad, también se puede indagar sobre él porque si está moviéndose, el acelerómetro no marca algo diferente, solo una pequeña variación cuando inicia el movimiento y cuando se detiene en la parte más alta de la atracción mecánica. Cuando cae libremente, el acelerómetro marca la línea blanca es decir para cero gravedad, es decir que no se experimenta la sensación de fuerza de gravedad, este fenómeno se puede utilizar para explicar porque los astronautas flotan en el espacio y se puede explicar la forma que entrenan a cero gravedad cuando están en la Tierra. Finalmente para el momento del frenado se pueden generar sensaciones de hasta $4G$ o $5G$, indicando como sobre el cuerpo puede actuar fuerzas de mayor intensidad gracias a los cambios de velocidad, de aquí también es posible explicar las grandes fuerzas que deben soportar los astronautas cuando salen de la superficie terrestre y para ello como deben entrenar en máquinas que generan grandes cambios de velocidad para generar una mayor aceleración y así ellos deben resistir una mayor fuerza. Entonces se puede ver como la aceleración es proporcional a la fuerza neta sobre el sistema como se indica en la ley de fuerza.

Al realizar la solución teórica, se puede relacionar la dinámica con la cinemática en el momento del frenado, porque aquí se calcula la desaceleración que tiene el vagón, posteriormente la distancia que recorre a partir del momento que inicia la frenada y así finalmente hallar la fuerza producida por el sistema de frenado magnético que tiene el *Súper shot*.

4. Conclusiones y consideraciones

4.1 Conclusiones

Gracias al desarrollo teórico y experimental hecho para los problemas de *accidentes en el colegio*, *Súper shot* y *Parkour*, se demuestra que a partir de estos problemas es posible abarcar conceptos de cinemática y dinámica de manera conjunta. Por ejemplo es posible analizar el concepto de aceleración como el cambio de la velocidad respecto al tiempo y como una relación entre la fuerza neta aplicada sobre un cuerpo y su masa como es el caso de la desaceleración sufrida por un cuerpo al caer libremente o cuando una persona se lanza de una determinada altura. Por otro lado para obtener su solución en el problema del *Súper shot* es necesario conocer las características de un movimiento uniforme, un movimiento uniformemente acelerado y la caída libre, además de poder explicar las leyes de Newton en momentos específicos del movimiento como cuando sube a velocidad constante (ley de inercia) o cuando se aplican los frenos y se desacelera la cabina (ley de la fuerza) o también para explicar las posibilidades de una lesión de los ocupantes cuando frena intempestivamente (ley de acción y reacción). En el *parkour* es posible encontrar una relación entre la desaceleración del choque del *traceur* contra el suelo y la distancia en que se reduce la velocidad, por medio del acelerómetro se evidencia cualitativamente esta relación y también es posible hacer énfasis en la ley de acción y reacción en el momento del choque, donde la fuerza que ejerce la persona sobre el suelo es igual a la fuerza que ejerce el suelo sobre la persona, entonces al reducir la fuerza de impacto se reduce el riesgo de una lesión severa.

De acuerdo al análisis realizado con el FCI, se logró evidenciar que los estudiantes del colegio Tibabuyes Universal tienen dificultades en diferenciar los conceptos de velocidad y aceleración; y consideran que en la interacción de dos cuerpos el objeto de mayor masa o el agente activo son los que realizan mayor fuerza. Desarrollando los problemas planteados, es posible afianzar correctamente estos conceptos y entender mejor la

tercera ley de Newton. Algunas relaciones entre velocidad y aceleración se pueden demostrar con el acelerómetro utilizando en la torre *Súper shot*. En el momento de subir la marca del acelerómetro no cambia indicando que existen fuerzas pero son iguales y opuestas, dando como resultado una velocidad constante, cuando cae libremente o en el momento de frenado del *Súper shot*, se observa un cambio en el acelerómetro y teóricamente se demuestra que hay una fuerza neta que permite el cambio de velocidad, luego se puede observar como la aceleración se relaciona con una fuerza neta diferente a cero y sucede cuando hay un cambio de velocidad, mientras que mantener una velocidad constante indica una fuerza neta igual a cero y por ende una aceleración nula. Para estudiar la tercera ley de Newton se puede centrar en momentos específicos de los movimientos de los objetos como por ejemplo en el momento que el *Traceur* impacta con el suelo, en el instante que la puntilla choca con la mezcla de agua y gelatina o cuando inicia el frenado magnético en el *Súper shot*.

Es posible desarrollar un proceso de enseñanza y aprendizaje mediante una metodología basada en resolución de problemas en temas como la cinemática y la dinámica. Esta metodología permite que el estudiante relacione los conceptos aprendidos con situaciones cercanas a su cotidianidad, si bien la cinemática y dinámica no describen completamente la realidad de cada situación, los aproxima y permite dar un significado a los conceptos desarrollados en clase; además construir su propio conocimiento puede generar un mayor valor ya que el estudiante siente que su esfuerzo valió la pena. Pero también esta metodología puede tener sus dificultades ya que los estudiantes están acostumbrados a que el profesor es el único transmisor de conocimientos y son inseguros en el momento de comunicar sus ideas científicas, por ello es indispensable dar seguridad y confianza a los estudiantes, exigir respeto por las ideas de los demás y promover comunicación asertiva en todas las clases para acostumbrarlos a una nueva metodología de trabajo.

Se construyó una propuesta didáctica basada en el aprendizaje basado en problemas (ABP) para abordar conceptos de cinemática y dinámica de manera conjunta y no lineal. La propuesta consta como base de tres problemas con temas cercanos a su realidad o que generan una motivación personal en ellos. Con base a estos tres problemas se realizaron tres experimentos: El primero dejando caer libremente objetos sobre una mezcla de agua y gelatina desde diferentes alturas, el segundo es el cálculo de la

constante elástica de un resorte por dos métodos diferentes y el tercero el análisis cualitativo del cambio de velocidad cuando una persona cae libremente sobre el piso. También se hizo la construcción de un artefacto con muelles elásticos y una masa (acelerómetro) que permite medir la aceleración de un sistema. Finalmente se planteó un trabajo en 7 sesiones basado en grupos cooperativos, cada sesión dura entre 110 y 220 minutos y mediante la solución teórica de cada uno de los problemas se lograría demostrar que se pueden abarcar temas como tipos de movimiento, variables cinemáticas, fuerzas, aceleración, ley de Hooke y leyes de Newton.

4.2 Consideraciones

La propuesta didáctica está planteada para abordar conceptos relacionados con dinámica y cinemática, pero a medida que se desarrollaba todo el trabajo, se evidenció que se pueden abordar otros temas. Por ejemplo en la caída de objetos sobre la gelatina, se llegó a un resultado poco esperado donde a medida que se hacía más rígida la mezcla, se generaba un mayor daño, luego una posible explicación se basa en conceptos de energía, en donde al ser más elástica la mezcla, disipaba mayor cantidad de energía de la puntilla, inclusive se observaba que la puntilla rebotaba cuando cae en la gelatina y cuando la mezcla era más rígida, la puntilla rebotaba con mayor altura, luego partiendo de este problema que surgió, se puede abordar el tema de energía. Por otra parte, en la solución teórica se plantea la opción de calcular la presión generada por la caída de una persona sobre el asfalto o la caída de un objeto sobre alguna parte del cuerpo, de aquí se podría analizar la relación existente entre la presión que genera un cuerpo, la fuerza ejercida y la superficie de acción. Se podría ampliar el problema de accidentes del colegio demostrando que el daño producido por un objeto que cae libremente depende de la posición en que impacte a la persona, ya que a pesar de ser el mismo objeto la presión generada puede cambiar de acuerdo a la superficie de contacto.

Aunque se abordaron varios temas de cinemática y dinámica los problemas no abarcan todos los temas relacionados como sucede con el movimiento circular el cual no fue contemplado en los problemas realizados. Para abordar este tema, se puede continuar con la metodología agregando nuevos problemas que permitan abarcar este tema. Una opción puede ser con otras atracciones mecánicas ubicadas en el parque Salitre Mágico de Bogotá. Las atracciones que describen movimientos circulares son la rueda mágica, el

barco pirata y la montaña rusa doble loop. En cuanto a deportes extremos se podría plantear problemas en el skate boarding o BMX, en momentos que los deportistas hacen figuras con giros de hasta 720 grados.

En el desarrollo de las actividades experimentales es posible incluir el uso de herramientas tecnológicas que son de mayor motivación para los estudiantes, permite contrastar los resultados obtenidos y da mayor rigurosidad a algunos experimentos que se hicieron de forma cualitativa. En el caso de la caída de objetos se puede utilizar el software de uso libre *Tracker* para calcular la velocidad de caída, la aceleración o la distancia recorrida en cada instante de tiempo, inclusive podría servir para hallar la velocidad con que rebotan las puntillas y así encontrar los coeficientes de restitución para la gelatina. En el caso del problema del *Súper shot* y el *Parkour*, se puede utilizar diferentes aplicaciones para teléfonos inteligentes android, como son: *Accelerometer monitor*, *Physics tool box* o *Accelerometer sensor*. Estas aplicaciones permiten observar graficas de aceleración e inclusive brinda datos en intervalos de tiempo muy pequeños para ser analizados con más detalle.

En la solución teórica se evidencia la necesidad de que los estudiantes manejen diferentes herramientas matemáticas como la solución de ecuaciones o sistemas de ecuaciones, regresión lineal y cálculo de errores. Si los estudiantes no manejan adecuadamente estas herramientas matemáticas el trabajo que se quiere concentrar en la interpretación de los resultados obtenidos se verá estropeado y posiblemente no se alcancen los objetivos propuestos. Por ello es recomendable que el trabajo se realice con ayuda de la clase de matemáticas, que los estudiantes tengan la oportunidad de desarrollar estos contenidos desde la clase de matemática así se puede lograr transversalidad en los conocimientos aprendidos.

Bibliografía

Barrows, H. (1986), A taxonomy of problem based learning methods, medical education, 20: 481-486

Beckdett E. Los accidentes domésticos. Cuaderno de Salud Pública. 1999; (26): 1195.

Díaz, F. (2010), Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo, Pedagogía y Didáctica, Quito, Ministerio de Educación.

Escribano, A. (2008), El aprendizaje basado en problemas una propuesta metodológica en la educación superior, Madrid, Narcea.

Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales (2004). Serie Guías N° 7. Ministerio de Educación Nacional.

Feynman, R.; Leighton, R. y Sands, M. (1971), Lecturas de física, California, Fondo educativo interamericano.

Herman I. P. (2007) Physics of the human body. New York. Springer.

Hestenes D., Jane J. (2007). Table II for the Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*. Recuperado el 6 de mayo de <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>

Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141–158.

Londoño, M. (2003). Introducción a la mecánica, Medellín, Universidad Nacional de Colombia.

Mora, C. y Benítez, Y. (2010), “Desarrollo histórico del concepto de fuerza y su implicación en la educación” en el Segundo foro de investigación educativa, México, D. F.

Morales, P. y Landa, V. (2004), "Aprendizaje basado en problemas problem – based learning" Theoria, Vol. 13: 145-157, Perú.

Mosquera, T. (2012). La segunda ley de Newton: propuesta didáctica para estudiantes del grado décimo de educación media de la escuela normal superior de Neiva. Recuperado el 20 de mayo de 2014 de <http://www.bdigital.unal.edu.co/7279/1/yamidmosqueramedina.2012.pdf>

Newton, I. (1687), Isaac Newton's Philosophiaenaturalis Principia Mathematica, En KoyrèA.y Cohen I.B. (eds.), Harvard Univ. Press, 3rd (1975).

Rosales, J. (2012). ¿Es importante el orden de aborda la mecánica? Recuperado el 20 de mayo de 2014, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/8157/1/josemoisesrosalesromero.2012.pdf>

Salitre Mágico Bogotá. Torre Súper Shot. Recuperado el 29 de abril de 2014, de <http://salitremagico.com.co/atracciones/alto-impacto/torre-super-shot/1062>

Science in shcool. Midiendo en Mirabilandia w3. Recuperado el 28 de abril de 2014, de <http://www.scienceinschool.org/2011/issue20/amusement/spanish#w4>

Sebastiá, J. y Sebastián M, (2013). "Las Leyes de Newton de la mecánica: Una revisión histórica y sus implicaciones en los textos de enseñanza" Didáctica de las ciencias experimentales y sociales. Vol. 27, 199-217, Venezuela.

Sepúlveda, A. (2012). Los conceptos de la física. Evolución histórica, tercera edición, Medellín, Editorial Universidad de Antioquia.

Soto, I.; Moreira, M. y Caballero, C. (2009). "Implementación de una propuesta de aprendizaje significativo de la cinemática a través de la resolución de problemas" Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, Vol. 17, 27-41, Chile.

A. Anexo: Tabla de aciertos en cada una de las preguntas del FCI y el nivel de dificultad de cada una de las preguntas

En la tabla se muestran los aciertos obtenidos por cada uno de los estudiantes en cada uno de los cursos analizados. También indica el índice de dificultad para cada una de las preguntas del FCI respondidas por los estudiantes del IED Tibabuyes Universal.

El índice de dificultad de cada pregunta se calcula tomando el número de aciertos que se obtuvo en ambos cursos dividido entre el número de estudiantes que realizaron la prueba, que en este caso fue de 70. En amarillo se encuentran resaltados los índices más altos, esto significa que fueron las preguntas con mayor cantidad de aciertos. En rojo se encuentran los índices más bajos, eso indica las preguntas que tuvieron la menor cantidad de aciertos.

Pregunta	Respuesta correcta	1001	1002	Ambos cursos	Índice de Dificultad
1	C	6	14	20	0,29
2	A	6	10	16	0,23
3	C	6	6	12	0,17
4	E	5	1	6	0,09
5	B	5	5	10	0,14
6	B	16	12	28	0,40
7	B	12	7	19	0,27
8	b	7	5	12	0,17
9	e	5	11	16	0,23
10	a	4	5	9	0,13

11	d	2	4	6	0,09
12	b	11	19	30	0,43
13	d	5	4	9	0,13
14	d	5	3	8	0,11
15	a	8	4	12	0,17
16	a	7	5	12	0,17
17	b	4	4	8	0,11
18	b	6	5	11	0,16
19	e	1	6	7	0,10
20	d	1	3	4	0,06
21	e	3	5	8	0,11
22	b	6	5	11	0,16
23	b	4	6	10	0,14
24	a	16	5	21	0,30
25	c	10	6	16	0,23
26	e	2	7	9	0,13
27	c	9	6	15	0,21
28	e	3	2	5	0,07
29	b	6	6	12	0,17
30	c	3	7	10	0,14

Tabla 0.1. Índice de dificultad de las respuestas recogidas del FCI al ser aplicado a los estudiantes de grado décimo de IED Tibabuyes Universal.

Las preguntas 4 y 28 hacen referencia la tercera ley de Newton, la pregunta 11 a la identificación de fuerzas y la 19 y 20 a conceptos relacionados con cinemática donde se hace la predicción de movimientos por medio de la información que se encuentra en un diagrama.

B. Anexo: Guía de laboratorio para simular la caída de objetos

Medición del daño generado por una puntilla al caer libremente en una mezcla de agua y gelatina.

Objetivo: Simular la caída de objetos sobre el cuerpo humano desde diferentes alturas.

Materiales: Diferentes mezclas de gelatina con 337 ml de agua, dos puntillas de 7,6 cm y 12,6 cm, metro, marcadores.

Procedimiento:

- Coloque en un lugar de la cancha de microfútbol de la IED Tibabuyes Universal una de las mezclas de gelatina con agua.
- Deje caer libremente una de las puntillas desde el segundo y tercer piso de la institución, de tal forma que caiga vertical sobre la mezcla de gelatina que se colocó en la cancha de microfútbol.
- Señale con marcado de diferente color los orificios producidos por cada una de las puntillas lanzadas desde el segundo y el tercer piso.
- Realice cada medición por lo menos 4 veces y regístrelo en la siguiente tabla.

	Puntilla 1	Puntilla 2
PROM		

- Mida la longitud del daño producido en cada uno de los lanzamientos para cada una de las puntillas. Y registro los resultados obtenidos en la siguiente tabla.

		Puntilla 7,6 cm		Puntilla 12,6 cm	
agua (ml)	gelatina (g)	h1 (mm)	h2 (mm)	h1 (mm)	h2

Análisis de resultados:

- Construya la gráfica de profundidad en función de la concentración de gelatina que tiene la mezcla para cada una de las puntillas. ¿qué puede concluir de las gráficas construidas?
- ¿Qué diferencias encuentra entre el daño generado por cada una de las puntillas?
- ¿Qué sucede con el daño producido sobre la mezcla de agua y gelatina cuando las puntillas se lanzan de diferentes alturas?
- ¿Qué sucede con el daño generado por la puntilla a medida que la concentración de gelatina es mayor en la mezcla? ¿Cómo podrías explicar este fenómeno?

C. Anexo: Guía de laboratorio calcular las constantes elásticas

Cálculo de las constantes elásticas de los muelles por medio de dos métodos diferentes

Objetivo: Calcular las constantes elásticas de los muelles utilizados para realizar el acelerómetro.

Materiales: Soporte, muelles, juego de masas, cronómetro, regla, plumón.

Método 1: Medición de la elongación del resorte.

Procedimiento:

- Coloca el muelle verticalmente sobre el soporte y marca el extremo inferior como punto de referencia para medir la elongación producida al colocar una más como se muestra en la figura.
- Coloca diferentes masas sobre el resorte y mide la elongación producida en cada caso.
- Coloca los datos obtenidos en la siguiente tabla agregando el cálculo del peso generado por cada una de las masas colocadas sobre el muelle.



m (kg)	x (cm)	Mg (N)

Análisis de resultados

- Con la ayuda de Excel, construye la gráfica de fuerza en función de la elongación y encuentra la ecuación de regresión lineal.
- ¿Qué tipo de relación existe entre la fuerza y la elongación del resorte?
- La pendiente encontrada en la ecuación de regresión lineal, ¿Qué significado físico tiene?
- Encuentre el error de la pendiente hallada en la regresión lineal.
- ¿Cómo se relaciona el resultado obtenido en este experimento con la ley de Hooke?

Método 2: Medición del tiempo de oscilación del sistema masa-resorte.

Procedimiento:

- Coloque verticalmente el muelle sobre el soporte.
- Coloque una masa de 50 g sobre el resorte en el extremo inferior como se muestra en la figura.
- A partir del punto de equilibrio del sistema masa resorte, mida 4 cm de amplitud y realice la marca sobre el soporte.
- Estire el resorte hasta los 4 cm medidos en el paso anterior y deje oscilar libremente midiendo el tiempo que tarda en hacer 10 oscilaciones.
- Calcule el periodo de oscilación y registre los datos obtenidos en la siguiente tabla.



t (s)	T (s)
T promedio	

Análisis de resultados

- Calcule la constante elástica del resorte utilizando la siguiente expresión:

$$k = \frac{4\pi^2 \cdot m}{T_{prom}^2}$$

- Encuentre la desviación típica de los datos de periodo.
- Encuentre el rango de confiabilidad para las medidas realizadas.
- Las mediciones teóricas y experimentales hechas de la constante elástica, ¿están en el rango de confiabilidad?
- ¿Es posible afirmar que cualquiera de los métodos utilizados es eficiente para calcular la constante elástica del resorte?
- Si utiliza una masa de 100 g para la construcción del acelerómetro de masa y resorte, ¿Qué elongación se produce para cada medida de gravedad?

D. Anexo: Guía para construir el acelerómetro de masa y resorte

Construcción de un acelerómetro de masa y resorte

Objetivo: Construir un acelerómetro de masa y resorte.

Materiales: Muelles elásticos, masa de 20, pliego de acetato, tapones de tubo de 2,2 cm, cinta de color blanco y rojo, cáncamos, cáñamo, pegante instantáneo.

Procedimiento:

- Realiza un orificio en el centro de cada tapón de tubo y en uno de ellos coloca un cáncamo de forma que la abrazadera quede en la parte interna del tapón como se muestra en la figura.
- Une los resortes a la masa de 20 g y a la abrazadera del cáncamo que quedo en la parte interna del tapón de tubo como se muestra en las figuras.



- Forma un royo con el pliego de acetato en incrústalo en el tapón que esta unidos a la masa y el resorte. Con ayuda de cáñamo une el tubo formado con el acetato con el otro tapón de tubo y ajústalo del otro extremo como se muestra en las figuras.



- Coloca pegante instantáneo en los extremos que unen los tapones de tubo con el acetato para asegurarse de que no se desarme con el uso.
- Finalmente coloca la masa en el punto de equilibrio horizontal y marca con cinta blanca. Luego colócalo verticalmente y donde quede la masa marca con cinta roja. Finalmente teniendo la distancia entre la cinta roja y blanca mide la misma distancia para tener la referencia para diferentes aceleraciones de G positivas y negativas.



Análisis de resultados

- ¿Qué indica cada una de las marcas con cinta roja en el acelerómetro?
- ¿Qué indica la cinta blanca en el acelerómetro?
- A partir del diagrama de fuerzas que actúan sobre la masa, calcule la constante elástica.
- ¿Cómo se puede utilizar el acelerómetro en el problema de la torre *Súper shot* y *Parkour*?
- ¿Por qué el punto de equilibrio para la masa es diferente cuando el acelerómetro se encuentra en posición horizontal y vertical? Explica tu respuesta.